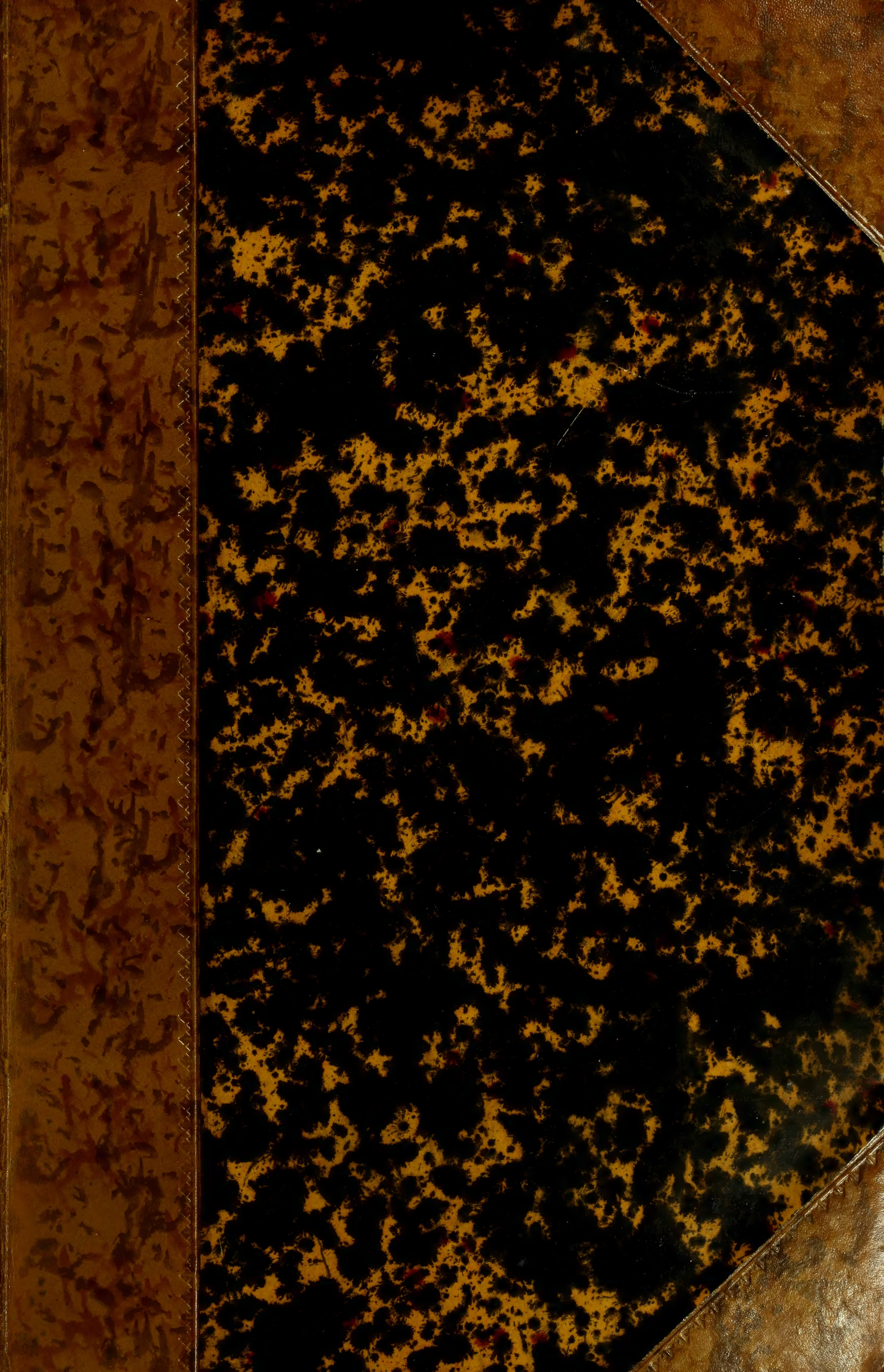




Ernst Fleischl v. Marxow.

hotogr. v. V. Angerer, Wien. Heliogr. & Druck J. Blechinger.

Gesammelte Abhandlungen

von

Dr. Ernst Fleischl von Marxow

weil. Professor der Physiologie und corr. Mitglied der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien, der Accademia medico-fisica in Florenz, Mitglied der kais. Leopold.-Karol. Akademie für Naturforscher, Ritter des Franz Josef-Ordens, Officier de l'Instruction Publique, emerit. Assistent a. d. Lehrkanzel für pathologische Anatomie und a. d. Lehrkanzel für Physiologie

---

Herausgegeben

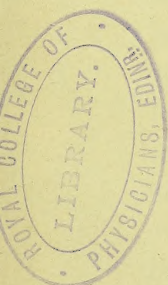
von

Dr. Otto Fleischl von Marxow

Mit einem Portrait des Verfassers und einer biographischen Skizze

von

Prof. Sigm. Exner



Leipzig 1893

Verlag von Johann Ambrosius Barth

(Arthur Meiner)

Druck von Otto Dürr, Leipzig.

Vorwort.

Die Arbeiten meines Bruders sind in so vielen wissenschaftlichen Jahrbüchern, Zeitschriften, Akademieberichten u. s. w. zerstreut publicirt, dass das Auffinden einer bestimmten Schrift Schwierigkeiten bereiten könnte. Ich halte deshalb die Herausgabe dieser Abhandlungen in einem Bande für zweckmässig. Herr Professor Sigmund Exner, durch viele Jahre Freund und College meines Bruders, war mir sehr behülflich, indem er das Material sichtete, die Reihenfolge der Aufsätze bestimmte, und mehrere Stellen mit Anmerkungen versah, unter denen sein Name steht.

Ausgeschlossen haben wir aus dieser Sammlung

von früher Gedrucktem: sämmtliche Referate und Besprechungen fremder Werke und Abhandlungen in wissenschaftlichen Zeitschriften; Die Bedeutung des Herzschlages für die Athmung (Stuttgart, Ferd. Enke, 1887, [196 Seiten]); eine Uebersetzung von J. Clerk Maxwell's Matter and Motion (Braunschweig, Fried. Vieweg & Sohn, 1879); Eine Lücke in Kant's Philosophie und Eduard v. Hartmann (Wien, L. Rosner, 1872), und mehrere Aufsätze grösstentheils polemischen Inhalts, wie: Pro domo (Wien, Seidel, 1882); Localzeichen und Organgefühle (Med. Jahrbücher, Febr. 1882),

und den nur im Manuscript vorhandenen Text der Vorlesungen über Philosophie der Naturwissenschaften, über Licht und Farbe, über Bewegung; ferner eine beinahe vollendete Uebersetzung von Dante's Vita nuova; den Entwurf zu einem Nachruf für Prof. Heinr. v. Bamberger.

Der Verleger, Herr Johann Ambrosius Barth, hat sich mit der Ausstattung des Werkes und mit der möglichst genauen Nachbildung der vielen Tafeln grosse und erfolgreiche Mühe gegeben.

Herrn Prof. Sigm. Exner, dem ich jetzt das Wort überlasse, bin ich für seine thätige Mithülfe, sowie für die hier folgende liebevolle Schilderung zu innigem Danke verpflichtet.

Sanct Gilgen, September 1893.

Dr. Otto Fleischl v. Marxow.

Biographische Skizze.

Als ich Ernst Fleischl in der ersten Hälfte der Sechziger-Jahre kennen lernte, war er Schüler des akademischen Gymnasiums zu Wien, ein lebhafter junger Mensch, stets erfüllt von irgend einer wissenschaftlichen oder künstlerischen Idee, die er geistig zu verarbeiten suchte, und deshalb gerne mit anderen besprach. Schlagfertig und unterrichtet, wie das in seinem Alter selten und mir nie wieder vorgekommen ist, führte er Gespräche, die sich stets zu einer anregenden, belehrenden und lebhaften Discussion steigerten. Meistens waren es Fragen naturwissenschaftlichen oder philosophischen Inhaltes, häufig auch litterarische Werke älteren oder neueren Datums, die da zur Verhandlung kamen. Sein Urtheil war scharf, und weit reifer als man es bei jungen Leuten seines Alters zu finden pflegt, seine Ausdrucksweise von unglaublicher Gewandtheit und Präcision; er war immer mit ganzer Seele bei der Sache, eine Eigenschaft, die ihm bis an sein Lebensende blieb.

Ich war damals Schüler desselben Gymnasiums, aber einige Jahrgänge hinter ihm. Gemeinsame Interessen führten uns zusammen, und seine bedeutende Ueberlegenheit an Kenntnissen jeglicher Art fesselte mich an ihn. Es ist mir noch sehr wohl in Erinnerung, wie er mich eines Tages mit der Nachricht überraschte, er habe ein Mikroskop zum Geschenk bekommen. Ich ging in sein älterliches Haus, wo ich in seinem Zimmer eine Menge naturgeschichtlicher Objecte, Chemikalien, interessante Bücher u. s. w. angehäuft fand. Ein kleines aber ganz gutes Plössl'sches Mikroskop zeigte mir zum ersten Male Muskelfasern und andere Objecte in ihrem mir nur aus Büchern bekannten Bau. Es war das erste Mikroskop, das ich in die Hand bekam, und das mir die ungeschickten Bewegungen meiner das Object führenden Finger in vergrössertem Maassstabe zeigte.

Dieses älterliche Haus gab zugleich den Schlüssel zum Verständnisse meines jungen, nicht nur mir, sondern den meisten Altersgenossen an Interessen, Anschauungen und Kenntnissen so weit überlegenen

Freundes. Es war der Sammelpunkt zahlreicher hervorragender Männer und Frauen; ausgezeichnete Hofschauspieler, Schriftsteller und Gelehrte jedweder Richtung fühlten sich da heimisch; Betty Paoli war damals schon lange Hausgenossin. Die Mutter, selbst eine gründliche Kennerin besonders der philosophischen und kulturhistorischen Litteratur, hatte dafür gesorgt, dass der junge Ernst den Werth dieser Kreise, dieser Gespräche, dieses Schwimmens im Strome des Geisteslebens frühzeitig zu würdigen wusste, und sich so in ihm jene Fähigkeit, die mannigfaltigsten geistigen Genüsse aufzunehmen, entwickelte, die einen Charakterzug seines Wesens bildet. In diesem Hause verkehrte auch sein Onkel, der Physiologe Hans Czermak, den der junge, strebsame, nach Wissenschaft dürstende Gymnasiast interessirte, und der ihm zuerst physiologische Probleme vorlegte, und mit ihm besprach. Er war es auch, der ihm das erwähnte Mikroskop geschenkt hatte.

Zu Wien am 5. August 1846 geboren, hatte Ernst seinen ersten Unterricht von hervorragenden Lehrern im Hause erhalten, und war, erst 9 Jahre alt, ins Gymnasium getreten. Schon zu dieser Zeit hatte er sich allerlei Chemikalien verschafft, trieb, so gut es gehen wollte, in seinem Zimmer Chemie, wobei ihm das Buch von Regnault-Strecker als Wegweiser diente. Er lernte auf der Schule leicht, so leicht, dass ihm neben seinen Gymnasialarbeiten immer noch reichlich Zeit blieb, sich mit seinen Lieblingsfächern zu beschäftigen; er studirte Naturwissenschaften, Philosophie, besonders Kant und Spinoza, las viel aus der älteren und neueren deutschen Litteratur und lernte moderne Sprachen. Er hatte die glückliche Eigenschaft, nicht für den Moment zu lernen; was er erfasst hatte, blieb ihm sein Leben lang. So las er noch in den letzten Jahren lateinische Classiker, sprach französisch und englisch mit seltener Vollendung und beherrschte die italienische Sprache.

Als Fleischl im Jahre 1863 nach Ablegung der Maturitätsprüfung an die Universität übertreten sollte, verfügte er demnach über eine Vorbildung, wie sie nur wenigen zu Theil wird. Er stand vor der Wahl seines Lebensberufes. Wenn andere aus Unkenntniss von dem was an Wissenskreisen überhaupt existirt, hier oft im Dunkeln tappen, und irgend ein Zufall entscheidend wird, so konnte Ernst seine Wahl mit Umsicht treffen. Er hatte sich im Gebiete menschlichen Wissens und Könnens hinlänglich orientirt, um sich darüber klar zu werden, nach welcher Seite seine Fähigkeiten, und, was damit meistens zusammenhängt, seine Neigungen gravitirten. Auch dürfte der Einfluss seines mittheilsamen und in jeder Beziehung liebenswürdigen Onkels Czermak maassgebend gewesen sein. Fleischl wählte die Gelehrtenlaufbahn, das Studium der Physiologie.

Die Mutter holte den Rath von Brücke's darüber ein, wie sich ihr Sohn am zweckmässigsten für den gewählten Beruf vorbereite. Der Rath ging mit Rücksicht auf das sehr jugendliche Alter Ernst's dahin, dass er ein Jahr an der philosophischen Facultät mit dem Studium von Physik und Chemie verbringe, und erst dann den regelrechten Studiengang des Mediciners einschlage.

So war er im nächsten Jahre täglich im chemischen Laboratorium Redtenbacher's zu finden und hörte fleissig die physikalischen Vorlesungen bei v. Ettingshausen. Es war, wie gesagt, eine seiner hervorragendsten Eigenschaften, immer ganz bei der Sache zu sein; nicht leicht hätte jemand, der den rastlosen Schüler im Laboratorium beobachtete, wie er mit jeder Faser Chemiker zu sein, oder doch zu werden schien, erkannt, dass seine regsten Interessen der lebenden Welt angehörten, und dass er Chemie nur als Mittel zum Zweck betrieb. Auch im Gebiete der Physik hatte ihm der mächtige Schritt vom Bücherstudium der Gymnasialzeit zur Thätigkeit im physikalischen Institute neue unerwartete und freudige Ausblicke eröffnet. Der Assistent von Ettingshausen's, Reitlinger, zog ihn zu den Experimenten heran, und es bildete sich ein freundschaftliches, wesentlich auf gemeinsamen physikalischen Interessen beruhendes Verhältniss aus, das bis zu dem frühen Tode Reitlinger's bestand. Neben all diesem nahm Ernst noch Privatunterricht in der höheren Mathematik bei S. Spitzer, Professor an der technischen Hochschule.

Im nächsten Jahre war Fleischl ebenso eifriger und ständiger Besucher des Secirsaals, begeisterter Hörer Hyrtl's, und trieb dabei auch vergleichende Anatomie unter Brühl. Kein Wunder, dass der junge Mann, trotz seiner trefflichen Constitution, dieser rastlosen geistigen Arbeit Einhalt gebieten musste. Auf Rath Skoda's sollte er sich von seiner Ueberarbeitung durch Aussetzen des Studiums während eines Schuljahres erholen. Es war ein harter Schlag für ihn, doch fand er sich bei dem Reichthum seiner Anlagen bald in der neuen Situation zurecht. Er nahm Unterricht in der Oelmalerei und brachte den grössten Theil des Tages in dem Atelier des Malers Schilcher zu. Einen Tigerkopf, den er nach den Rubens'schen „vier Welttheilen" der Belvedere-Gallerie copirt hatte, bewahrte er auf, und noch in späteren Jahren griff er in freien Zeiten, z. B. während seiner Besuche in Rom, bisweilen gerne zum Pinsel. Hatte er doch ein lebhaftes Interesse und tiefes Verständniss für alle bildenden Künste.

Nach dieser Unterbrechung wurde der regelmässige Gang der Studien fortgesetzt. Brücke, Skoda, Oppolzer, Rokitansky, Billroth, Arlt, waren jene Lehrer, die auf den Gedankenkreis Fleischl's während

der Studienzeit am tiefsten einwirkten. In Brücke's Laboratorium wurde täglich gearbeitet, zunächst mikroskopisch, später auch experimentell. In diese Zeit intensiven Arbeitens im physiologischen Institute fällt die Knüpfung von Freundschaftsbanden mit gleichstrebenden Collegen, die für die späteren Jahre bestimmend waren. A. v. Frisch, H. Obersteiner, A. v. Winiwarter und ich, heute sämmtlich Professoren, bildeten mit Fleischl durch Jahre den Grundstock der Eleven in Brücke's Laboratorium. Wir hatten uns eng aneinandergeschlossen, und im heitern wie im ernsten Treiben uns gegenseitig mit freudigem Wetteifer zu überbieten gesucht. Nur die in der Jugend geschlossenen Freundschaften sind wahrhaft innige: unser aller Verhältniss zu Fleischl blieb von gleicher Wärme bis zu dessen letztem Tag.

Jeder von uns machte die Arbeit des anderen mit, neue Erscheinungen wurden besprochen, wir hatten regelmässige Zusammenkünfte, in denen abwechselnd jeder einen Vortrag halten musste. Unerbittlich war die Kritik über Inhalt und Form: wehe, wenn sich einer eine Blösse gegeben hatte. Nach des Schuljahres ernster Arbeit fanden sich die Freunde wieder in irgend einem einsamen Ort im Gebirge, und nun wurde ebenso intensiv gefaulenzt, wie vorher gearbeitet. Fleischl war ein vortrefflicher und ausdauernder Schwimmer, Bergsteiger, Ruderer, ein passionirter und sicher treffender Jäger, ein ausgezeichneter Tänzer. In diesen Ferienwochen kam der jugendliche Uebermuth, die Quelle mancher lustigen Studentengeschichte, auch bei uns zum Durchbruch, die wir während des Schuljahres vom sogenannten Studentenleben gar nichts mitmachten, und manchem unserer Collegen als die ärgsten Philister erschienen. Der Ulk, den Fleischl und seine Freunde im fernen Gebirgsdorf trieben, kann sich mit den tollsten Studentenstreichen messen

In den späteren Studienjahren traten neben den physiologischen Interessen auch jene für pathologische Anatomie in den Vordergrund. Die imponirende Persönlichkeit Rokitansky's und das damals noch wenig bebaute, reiche Ernte versprechende Feld der pathologischen Histologie zogen Fleischl mächtig an, wusste er doch, wie erfolgreich er die bei Brücke erworbenen Kenntnisse in der Pathologie verwerthen könne. Dieses Interesse für pathologische Forschung konnte Rokitansky nicht verborgen bleiben und so kam es, dass Fleischl, ohne den Gedanken an die Physiologie ganz aufzugeben, designirter Assistent Rokitansky's war, schon ehe er sein Doctorat gemacht hatte.

Mit dem Eintritt Fleischl's in das Institut für pathologische Anatomie begann dort ein eifriges Mikroskopiren. Eine grosse Anzahl Schüler sammelte sich um ihn; er gab am Mikroskop Curse in der pathologischen Histologie; auch seine Freunde bekamen nach und

nach Stellungen und so glitt der ganze Freundeskreis, fast ohne es zu merken, aus dem Stande der Lernenden in den der Lehrenden hinüber. Die wissenschaftlichen Zusammenkünfte wurden fortgesetzt, nun aber in Fleischl's Arbeitslocal; sie wurden auch erweitert, indem sich an denselben unter Anderen betheiligten: S. v. Basch, jetzt Professor in Wien, Dr. K. Bettelheim in Wien, Dr. J. Breuer in Wien, R. Chrobak, jetzt Professor in Wien, V. Czerny, jetzt Professor in Heidelberg, K. Gussenbauer, jetzt Professor in Prag, Sigm. Mayer, jetzt Professor in Prag, H. Sattler, jetzt Professor in Leipzig. Diese Versammlungen wurden später organisirt und zu einem Verein umgestaltet, der heute noch als „Physiologischer Club" in Wien existirt. Es war interessant zu sehen, wie die Lehrthätigkeit und die wissenschaftliche Reifung jedes Einzelnen in diesen zwanglosen Zusammenkünften zum Ausdruck kam. Fleischl, von Haus aus sprachgewandt, hatte es bald zu einer wahren Vollendung des Vortrags gebracht; nicht nur, dass er stets das passendste Wort im richtigen Augenblick fand, und dass er, durch sein eignes Interesse an der Sache alle mit fortriss, er hatte auch die Gabe, selbst die schwierigsten Probleme dem Hörer anschaulich und klar zu machen und mit dessen Verständniss stets rege Fühlung zu behalten. Diese arbeitsfröhliche Zeit, deren Spuren in den pathologisch-histologischen Arbeiten der nachstehenden Sammlung zu finden sind, und die, unterbrochen durch Ferien in alter Studentenstimmung mit den Freunden verlebt, zu den schönsten Jahren seines Lebens zu zählen ist, wurde jäh abgeschnitten durch eine Infection mit Leichengift, welche er sich im Dienste der pathologischen Anatomie zugezogen hatte.

Seine ausserordentlich kräftige Constitution und seine Jugend — er war damals 25 Jahre alt — überwanden zwar die das Leben bedrohende acute Krankheit, in welcher er den Daumen der rechten Hand einbüsste; allein er war nicht geheilt: im Stumpfe des rechten Daumens bildeten sich Neurome, die, oft exstirpirt, sich immer wieder an den Schnittstellen erneuerten, und das Leben Fleischl's im Laufe der Jahre zu einem Martyrium gestalteten, von dem sich nur die eine Vorstellung machen können, die zu seiner nächsten Umgebung gehörten.

Diese verhängnissvolle Erkrankung traf ihn etwa zwei Jahre nachdem er Assistent Rokitansky's geworden war. Die Heftigkeit derselben und eine schon früher zu Tage getretene Neigung zu derartigen Infectionen haben ihn bewogen, seine Stellung aufzugeben. Als ihn der stets theilnehmende E. v. Brücke an seinem Krankenlager besuchte und von diesem Entschlusse hörte, bot er ihm eine Assistentenstelle in seinem Institute an. Fleischl griff freudig zu, kehrte er doch nun zu seiner Lieblingswissenschaft zurück. Doch fühlte er sich nicht genügend vorbereitet, um die Stelle sofort anzutreten, er ging desshalb für ein

Jahr (1872—1873) nach Leipzig, um in C. Ludwig's Laboratorium experimentelle Methoden einzuüben. Im nächsten Jahre wurde er Assistent, bald darauf Privatdocent für Physiologie.

In der nun folgenden Zeit prägten sich die Folgen dieses Schicksalsschlages in der Individualität Fleischl's mit jährlich steigender Intensität aus. Immer mehr und mehr zog er sich von der Welt zurück, selbst seine intimsten Freunde sahen ihn wenig, in den Ferienmonaten ging er zwar noch gerne an Orte, an denen er wenigstens einige seiner alten Freunde wusste, aber in den letzten Jahren vergingen Wochen, ohne dass er mit diesen verkehrte.

Um so staunenswerther ist es, zu sehen, welche Fülle wissenschaftlicher Bethätigung in diese letzten zwanzig Jahre seines Lebens fällt. Der grösste Theil seiner physiologischen und physikalischen Abhandlungen entstand damals, und die technische Vollendung mancher seiner Arbeiten lässt nicht vermuthen, dass er bei deren Ausführung mit den Schwierigkeiten zu kämpfen hatte, welche ihm seine verstümmelte und schmerzende Hand bereitete. Und wenn er nach Beginn des Feierabends vom Laboratorium nach seinem Zimmer ging, so wurde wieder Physik, höhere Mathematik oder physiologische Litteratur studirt, oft bis zum grauenden Morgen. In solchen Nächten, in denen ihn seine Schmerzen nicht schlafen liessen, begann er auch das Studium des Sanskrit; später hörte er die Vorlesungen Prof. Bühler's hierüber, und soll es in der Kenntniss dieser Sprache weit gebracht haben. Fast ebenso sehr wie der tiefe philosophische Inhalt der Sanskritwerke interessirte ihn die physiologische und linguistische Seite des Studiums.

Aber nicht nur im Laboratorium und am Schreibtische entfaltete er seine Thätigkeit. Im Jahre 1876 schickte ihn die österreichische Regierung als Juror für physikalische und Präcisionsinstrumente zur Weltausstellung nach Philadelphia, bei welcher Gelegenheit er die Fahrt mit der Pacific-Bahn machte und die Rocky-Mountains besuchte, zwei Jahre später ging er in derselben Eigenschaft zur Weltausstellung nach Paris, und eine ähnliche Stellung nahm er gemeinsam mit V. v. Lang gelegentlich der elektrischen Ausstellung zu Wien ein. Er wurde für seine Leistungen von der österreichischen Regierung mit dem Ritterkreuz des Franz Josephs-Ordens ausgezeichnet und von der französischen Regierung zum „Officier de l'Instruction Publique“ ernannt. Auch war er unterdessen zum a. ö. Professor der Physiologie an der Universität zu Wien ernannt, und von der Akademie der Wissenschaften zu ihrem correspondirenden Mitglied gewählt worden.

In den Osterferien pflegte er nun nach Rom zu gehen, wo sich unterdessen sein Bruder Otto, an dem er mit grösster Liebe hing, als

Arzt niedergelassen hatte. Hier freute er sich an den Kunstwerken jeden Zeitalters, hielt sich viel in Künstlerateliers auf, lernte den Maler Heinrich Ludwig, den Bruder des Physiologen, kennen, den er durch seine chemischen Kenntnisse in den Bestrebungen nach rationeller Herstellung von Farben unterstützte. So ward er der Erfinder eines Bernsteinfirnisses, über den er nie etwas publicirte, der aber von Malern vielfach verwendet wird.

Bei diesen seinen zahlreichen Reisen kam ihm seine Gewandtheit im Verkehr mit Fremden sowie seine übrigen gesellschaftlichen Talente in hohem Grade zu statten. Denn wohin ihn auch das Leben geführt hatte, sei es in die „grosse Welt“, in Gelehrten- und Künstlerkreise, oder unter Landleute, sei es in seiner Vaterstadt Wien, in Leipzig, München, Rom oder im fernen Westen, immer wusste er sich durch Geist, Witz und Kenntnisse, durch die eigenthümliche Lebhaftigkeit seines Gespräches rasch Freunde zu erwerben.

Doch was sage ich? Durch die Geisteseigenschaften allein, und wären sie noch so glänzend, hat sich noch Niemand treue und warme Freunde erworben. Dass eine so bedeutende Zahl von Männern und Frauen mit selbstlosem und innigem Interesse an ihm hingen, verdankt er nicht minder einer tiefen Seelengüte und jenem sittlichen Ernst, die in ihrer Gemeinschaft erst Sympathie und Hochachtung erwecken. Die Fernerstehenden freilich sahen in ihm häufig nur den geistvollen Mann; wer ihn aber näher kannte, wer sah, wie er in der zartsinnigsten Weise für seine Freunde bedacht war, an ihren Leiden und Freuden Antheil nahm, mit welcher Behaglichkeit er mit deren Kindern spielte, sie belehrte und ihren Entwicklungsgang verfolgte, wer sein Verhältniss zu den jüngeren Geschwistern kannte, zumal aber, wer ihn in seiner Beziehung zu Vater und Mutter zu beobachten Gelegenheit hatte, der weiss, dass die üppigen und farbigen Blüthen dieses Lebens aus dem tiefen Grunde eines warmen Gemüthes emporsprossten. Dabei war er treu und wahr im edelsten Sinne des Wortes. Nie konnte Jemand im Zweifel sein, ob er die Neigung und Achtung Fleischl's erworben habe oder nicht. Seine Beziehungen zu Freunden konnten weder durch jahrelange Trennung noch durch irgend welche Aenderung in deren Verhältnissen getrübt werden.

So kam es, dass eine Reihe hervorragender Männer ihm ihr warmes Interesse sein Leben lang bewahrten; ich nenne: Th. Billroth, Jos. Breuer, E. v. Brücke, G. Bühler, R. Chrobak, R. Gersuny, W. v. Hartel, R. Heinzel, Paul Heyse, H. Kronecker, W. Kühne, V. v. Lang, Heinrich Laube, C. Ludwig, E. Ludwig, v. Miklosich, Th. Puschmann.

Dass ein Mann von so glänzender Begabung auch auf das weibliche Geschlecht tiefen Eindruck machte, ist leicht begreiflich; er verkehrte gern und viel mit geistig hochstehenden Frauen jeden Alters; war doch die Empfänglichkeit des weiblichen Geistes für alle seine vielseitigen Interessen ihm selbst wohlthuend. Wenn er ein Band für's Leben nicht geschlossen hat, so liegt dies wohl an seiner frühzeitigen Erkrankung.

Als ich am 22. Oktober 1891 an Ernst von Fleischl's Lager gerufen, eine Leiche vor mir sah, da war mein erster Trostgedanke: „nun hat er Ruhe gefunden“. Wie oft hatte ich in den letzten Jahren diese Räume verlassen unter dem Eindrucke der Tragödie, die sich da abspielte. Nun war der Friede eingezogen. Uns Freunden war Ernst schon früher verloren gegangen, nicht plötzlich: von Jahr zu Jahr wandelte sich allmälig das Verhältniss lebhafter gegenseitiger Freundschaft in das einseitige des tiefsten Mitleids um. Wir sahen eine der glänzenden Eigenschaften nach der anderen verderben, erstickt werden in dem elenden Schlamm körperlicher Schmerzen. Und doch hat unser Freund nicht umsonst gelebt, denn die folgenden Abhandlungen zeugen davon, dass sein Andenken in der Geschichte der Wissenschaft nicht verloren gehen wird, sie lassen uns aber auch erkennen, wie viel mehr er mit diesen seinen Eigenschaften hätte leisten können, wenn sein Körper so gesund geblieben wäre, wie sein Geist.

St. Gilgen, den 22. September 1893.

Sigm. Exner.

Inhaltsverzeichniss.

Druckfehler.

Seite 58, Zeile 8 von oben lies: Galle statt Gallerte.

Verzeichniss der Tafeln.

I.

Anatomisches.

Ueber den Bau der sogenannten Schilddrüse des Frosches.

(Aus dem physiologischen Institute der Wiener Universität. Vorgelegt in der Sitzung am 16. Januar 1868.)

(Aus dem LVII. Bde. d. Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. I. Abth. Jan.-Heft Jahrg. 1868.)

(Hierzu Tafel I.)

Wenn man beim Frosch von der *glandula carotidis* nach einwärts gegen den Kehlkopf geht, so stösst man auf einen röthlich gelben, rundlichen, stecknadelkopf- bis hanfkorngrossen Körper, die sogenannte *glandula thyreoidea* des Frosches.

Die mikroskopische Untersuchung dieses Körpers ergibt, dass seine äusserste Schichte eine Bindegewebshülle ist. Die Fasern dieses Bindegewebes sind regelmässig, parallel angeordnet. Von dieser Bindegewebshülle gehen nach innen Platten und Leisten aus und durchsetzen das Gewebe des Organes, indem sie es in kleinere Räume abtheilen.

Diese Räume sind von Zellen erfüllt, jedoch nicht so, dass eine die andere unmittelbar berührt; sondern die Zellen sind eingelagert in ein Gerüste, ähnlich dem in der Marksubstanz der Lymphdrüsen, und ähnlich dem, welches Basch (diese Berichte LI. 2. pag. 420) im Zottenparenchym beschrieben hat. Der Leib der Zellen erscheint fein granulirt. — Ausserdem finden sich sowohl in den Bindegewebszügen, als auch zwischen den Zellen grössere und kleinere Anhäufungen von Fettzellen eingestreut. An einem Hilus, der nach aussen zu gewendet ist, treten Gefässe und Nerven ein. Die Nerven verzweigen sich noch im Bindegewebsgerüste, ihre feineren Aeste dringen in die Zellenhaufen ein, wo sich die doppeltcontourirten Fasern sehr weit verfolgen lassen.

Der Grund, warum ich von diesem Gebilde spreche, liegt nicht in dem bisher erwähnten, sondern in dem, nun zu beschreibenden, eigenthümlichen Verhalten seiner Blutgefässe.

Ich lasse einem Frosch eine Injectionsmasse, bestehend aus Leim und löslichem Berlinerblau aus der fein ausgezogenen Spitze eines Glasrohres durch die angeschnittene *vena cava inferior* in das Herz rinnen. Von da wird sie durch die Herzaction des Frosches im ganzen Körper herumgepumpt. Sobald die Injectionsmasse erstarrt ist, nehme ich die Drüsen heraus und härte sie durch einige Tage in Alkohol, bette sie dann in eine Mischung von Wachs und Oel ein, mache feine Durchschnitte, die in Carminlösung gefärbt, dann entwässert und in Terpentinöl angesehen werden.

Aus der Beobachtung so behandelter Präparate ergibt sich, dass das ganze Organ von einem groben, grossmaschigen Gefässnetze durchzogen ist. Die Grundlage des Netzes sind Stämme, welche die gewöhnlichen Capillaren an Dicke bei weitem übertreffen, und welche allenthalben mit einander communiciren. Ausserdem stehen diese Stämmchen auch durch sparsam vertheilte Gefässe von capillarer Feinheit mit einander in Verbindung und dann finden sich noch seltener Anastomosen, vermittelt durch Gefässe von solcher Feinheit, dass unmöglich ein Blutkörperchen sie passiren kann. Ein eigentliches Capillarnetz existirt demnach in diesem Organe nicht, sondern es existiren bloss vereinzelte capillare Verbindungen der gröberen Gefässe, die dafür vielfach untereinander anastomisiren. In den Maschen dieses Gefässnetzes liegen Inseln von Zellen.

Die physiologische Ergänzung zu dem so rudimentär entwickelten Capillarsystem zeigte sich bei der Untersuchung von Präparaten, welche mit der Spritze injicirten Thieren entnommen waren.

Ich binde den Tubus einer Injectionsspritze in das angeschnittene Herz oder in eine der Aorten des Frosches ein und injicire dieselbe Masse, die ich früher verwendete.

Die Drüsen wurden auf die oben angegebene Weise behandelt, boten aber ein ganz verschiedenes Aussehen dar. Jede der früher gefässlos gesehenen Zellinseln war nun in eben so viele kleine Inseln zerfallen, als sie Zellen besass, indem feinste Strömchen der Injectionsmasse zahllose Verbindungen zwischen den Gefässen herstellten, und zwar waren sowohl die Capillaren mit den oben angeführten, dickeren, das Netz eigentlich constituirenden Stämmchen verbunden, als auch diese letzteren untereinander. — Nun waren bloss zwei Deutungen dieses Bildes möglich. Entweder diese zahllosen Verbindungen der Gefässe untereinander waren präexistente Blutplasmabahnen, entsprechend den wandungslosen Lymphbahnen in Lymphdrüsen und Darmzotten — oder das zweite, reichere Bild ist das Resultat eines Extravasates. Gegen letztere Deutung sprechen folgende Gründe:

1. Ein so regelmässiges Extravasat ist an sich nicht wahrscheinlich, seine jedesmalige Wiederholung unglaublich.

2. Der Anblick der Präparate selbst spricht gegen die Annahme eines Extravasates.

Es sind die Durchmesser der interstitiellen Bahnen constant einander gleich.

Auf jedem Querschnitt sind unzählige Communicationen der interstitiellen Bahnen mit den Gefässen sichtbar.

Die Zellen sind durchaus nicht aufgeschwemmt in der blauen Masse, sondern liegen, wie aus der Vergleichung mit nicht injicirten Präparaten hervorgeht, in ihrer natürlichen Anordnung von ihrem sehr zarten Gerüste festgehalten.

3. Ich habe auch an besonders gelungenen Präparaten von Thieren, die sich selbst injicirt hatten, Stellen gefunden, an denen die interstitiellen Bahnen injicirt waren.

Wenn somit einerseits der Unterschied zwischen den durch Herzkraft und den mit der Spritze injicirten Präparaten zeigte, dass der Inhalt der Blutgefässe schwieriger in die interstitiellen Räume eindringt, als in die gewöhnlichen Capillaren, so zeigen auf der anderen Seite die sub 3 besprochenen Stellen, dass in Rücksicht auf sie die Herzkraft zur Anfüllung dieser Räume hinreichend gewesen war, was um so mehr ins Gewicht fällt, als ich an Winterfröschen arbeitete, bei denen die Energie der Herzcontractionen bekanntlich sehr herabgesetzt ist.

4. Schliesslich muss erwähnt werden, dass auch an den mit der Spritze injicirten Fröschen sich in andern Organen keinerlei Extravasate fanden, und auch keinerlei ähnliche Anordnung der blauen Masse im Gewebe, wenn man in Rücksicht auf letzteren Punkt von der Milzpulpa absieht.

Es erscheint somit die folgende Annahme gerechtfertigt:

Während in den meisten Organen der Thiere das gesammte Blut durch ein System von so engen Capillaren fliesst, dass nur eine Reihe von Blutkörperchen in ihnen wandert, so geht hier das Gesammtblut durch weniger regelmässig angeordnete und verhältnissmässig weite Gefässbahnen aus den Arterien in die Venen über; dafür ist aber dem Plasma noch ein System von engen Wegen eröffnet, in dem es sich fortbewegen und das Gewebe durchtränken kann ohne das Gefässinnere zu verlassen.

Erklärung der Abbildungen auf Tafel I.

Fig. 1. Ein Stück aus der durch eigene Herzkraft injicirten Drüse bei 100-maliger Vergrösserung.

Fig. 2. Ein Stück aus der mit der Spritze injicirten Drüse bei 150maliger Vergrösserung. In der Mitte eine grosse Arterie, aus der die Injectionsmasse herausgefallen ist.

Fig. 3. Ein anderes Stück aus einer mit der Spritze injicirten Drüse bei 290maliger Vergrösserung.

Fig. 4. Dient dazu, bei 480maliger Vergrösserung zu veranschaulichen, wie die Zellen in das Gerüste eingelagert sind und wie die Masse in die Zwischenräume des Gerüstes vertheilt ist.

Die Vergrösserungszahlen wurden ermittelt durch directes Messen von Object und Zeichnung.

Ueber den Bau einiger sog. Drüsen ohne Ausführungsgänge.

(Aus dem physiologischen Institute der k. k. Universität zu Wien. Vorgelegt in der Sitzung am 10. Juni 1869.)

(Aus dem LX. Bde. d. Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. II. Abth. Juni-Heft. Jahrg. 1869.)

(Hierzu Tafel II.)

Das Bestreben, für jedes der menschlichen Organe in jeder Thierordnung ein Analogon zu finden, hat die vergleichenden Anatomen oft verleitet, Organe mit Namen zu belegen, auf welche sie weder durch ihren Bau und ihre Entwicklung noch durch ihre Function einen Anspruch haben. — So findet man auch ein kleines Drüsenkorn, welches bei Fröschen unter dem vorderen Rande des *Musculus depressor maxillae* dicht hinter der äusseren Oeffnung des Ohres gelegen ist, und welches bei den übrigen nackten Amphibien eine ähnliche Lage hat, als *Glandula thymus* beschrieben, obwohl zwischen dem Bau dieses Organes und dem Bau der *Thymus* bei den Säugethieren nicht die mindeste Uebereinstimmung besteht. Der Bau dieser Drüse war schon mehrmals Gegenstand von Untersuchungen, zuletzt und am ausführlichsten wurde ihm eine solche von Seiten des Dr. Toldt zu Theil, welcher die Ergebnisse seiner Forschung in einer Schrift, betitelt: „Ueber lymphoide Organe der Amphibien“ (d. B. LVIII. Band, 2. Abtheilung 1868) niedergelegt hat. — Meine Untersuchung dieses Organes hat mich zu Resultaten geführt, welche von denen der anderen in so zahlreichen Punkten abweichen, dass sie mir eine neue Beschreibung desselben zu rechtfertigen scheinen.

Bei Gelegenheit der Erörterung der Gefässverhältnisse des Organes werde ich meine Anschauungen über einen Punkt von allgemeinerem Interesse, der zu einer Controverse Veranlassung gegeben hat, entwickeln und zu beweisen suchen.

Die Lage der Drüse ist oben angegeben. Man gelangt am einfachsten zu ihr, wenn man den *Musc. depressor maxillae* dicht an seinem Ursprung von der Rückenaponeurose quer durchtrennt und nach abwärts umschlägt, dann findet man unter ihm die fragliche Drüse in lockeres Bindegewebe gehüllt und kann sie leicht mit der Schere lospräpariren. Sie hat die Gestalt einer stark in die Länge gezogenen Bohne; ihr längster Durchmesser misst 2—3 Millimeter.

In den Hilus sieht man Gefässe und ein verhältnissmässig mächtiges Nervenstämmchen treten.

Die mikroskopischen Elemente der *Glandula thymus* sind theils zwischen, theils in die Balken eines ungemein feinen Bindegewebsgerüstes eingetragen, welches die Grundlage des Organes bildet. Die Balken sind von ziemlich gleichmässiger Dicke, an ihren Kreuzungsstellen befinden sich auffallend voluminöse Anschwellungen, welche mitunter mit einem oder mehreren Bindegewebs-Körperchen besetzt sind. — (Fig. 1.)

In den Maschen des Gerüstes verlaufen die Gefässe, von welchen später ausführlicher die Rede sein wird, und die sehr zahlreich vorhandenen Nerven.

Die Nervenstämmchen zerfallen im Innern der Drüse immer weiter, zuletzt sieht man einzelne Primitivfasern das Gewebe durchsetzen, welche noch mit Mark und Schwann'scher Scheide versehen sind. Im weiteren Verlaufe verlieren die Nervenfasern zunächst das Mark und nun ist die Continuität des Axencylinders häufig durch zwischen eingestreute Kerne unterbrochen, ein Verhalten, welches sich, so lange die Faser noch ein Mark besitzt, zwar auch, aber nicht so häufig findet. Von der marklosen Faser (oder ihrer Scheide) gehen nach allen Seiten sehr feine und lange Fortsätze aus, an welche, wie die Perlen an eine Schnur, in kurzen und unregelmässigen Intervallen eben solche Kerne gereiht sind, wie sie auch als Unterbrechungen des Axencylinders vorkommen. Diese Fäden geben wieder nach allen Seiten Gebilde ihres Gleichen ab, und endigen in mehrere kurze Fäserchen, deren jedes an seinem freien Ende einen der oben gedachten Kerne trägt. Diese Kerne (Fig. 2) bilden die Hauptmasse des Organes und erscheinen auf Schnitten in ziemlich regelmässiger Weise — je einer oder zwei in eine Gerüstmasche eingetragen. Was das Wesen dieser Kerne betrifft, so könnte man wohl geneigt sein, sie für Lymphkörperchen zu halten, wenn man sie nicht in so vielfachem Zusammenhang mit den fadenförmigen Fortsätzen der Nervenfasern sehen würde, und wenn sie nicht so absolut den in den Verlauf des Endstückes des Axencylinders eingestreuten Körper-

chen glichen. Ich wage nicht, ihnen eine bestimmte Deutung zu geben.

Ich lege das frische Organ, nachdem es oberflächlich mit Nadeln zerzupft wurde, in eine verdünnte (weingelbe) Lösung von doppeltchromsaurem Kali; nach 24 Stunden wird es ausgewaschen, für eine Stunde in neutrale Karminlösung gelegt, abermals gewaschen, und nun ein Theil der Drüse mit Zusatz von etwas Glycerin unter der Loupe so fein wie möglich zerzupft.

Solche Präparate zeigen an günstigen Stellen das oben geschilderte Verhalten der Nerven und Kerne, ausserdem schwimmen im Menstruum zahlreiche Trümmer des Gerüstes, Stücke von Gefässen, Nervenfasern, in grosser Menge Kerne, die in Verbindung mit feinen Fäden sind (Fig. 2 b) und ausserdem grosse runde oder rundliche, stark tingirte Zellen umher (Fig. 3). Diese Zellen lassen deutlich einen central gelegenen Kern und in diesem ein sehr glänzendes Kernkörperchen erkennen. Der Leib der Zelle ist fein granulirt und von einem System feiner concentrisch um den Kern angeordneter Streifen durchsetzt. Die Fortsätze, deren man leicht 3 oder 4 auf einmal sieht, sind bei der angegebenen Behandlungsart meist hart am Contour der Zelle abgebrochen und zwar häufig genug nicht mit einer reinen, sondern mit einer gestuften Bruchfläche, so dass es den Anschein hat, als bestände der Fortsatz aus feinen Fibrillen die seiner Längsaxe parallel angeordnet und nicht alle in gleicher Entfernung von der Zelle abgebrochen wären. An Schnittpräparaten lassen sich diese Fortsätze weiter verfolgen, man sieht sie dann sich theilen. Einmal habe ich einen solchen Fortsatz in Verbindung mit einer marklosen Nervenfaser gesehen. Diese Zellen lassen keine andere Deutung zu, es sind Ganglienzellen.

Sie kommen ausnahmslos in jeder Froschthymus in beträchtlicher Anzahl durch das ganze Organ verstreut vor, doch ist in jeder Drüse eine Stelle, an welcher ein dichter Haufen solcher Zellen liegt. Die Menge dieser Zellen ist selbst der Menge der früher beschriebenen Kerne gegenüber so beträchtlich, dass die Frage zu erwägen ist, ob diesem Organe nicht die Bedeutung eines Ganglion beizulegen wäre. Die Mächtigkeit des eintretenden Nervenstammes würde gewiss nicht gegen eine derartige Auffassung sprechen.

Wir befinden uns somit der *Glandula thymus* der Amphibien gegenüber in einer ähnlichen Lage, wie bei der Nebenniere der Säugethiere.

Auch von diesem Organe wissen wir, besonders durch Virchow's und Holm's Untersuchungen, dass es ausser gewissen unbestimmten Elementen zahlreiche Nervenzellen enthält, haben uns

aber noch nicht entschlossen, es aus diesem Grunde einfach zu den Ganglien zu zählen.

Jetzt will ich von denjenigen Bestandtheilen der Drüse sprechen, an deren Bildung die Substanz des Gerüstes selbst einen Antheil nimmt. Hie und da findet man in einem der oben erwähnten Knotenpunkte des Gerüstes eine fein granulirte, deutlich begrenzte Masse zu einem rundlichen oder birnförmigen Körper angeordnet (Fig. 1). Im Innern des Körpers liegt ein Kern und von dem Leib der Zelle geht ein fein granulirter Fortsatz aus, welcher, die umgebende Bindegewebshülle durchbrechend, in's Freie gelangt. Dieser Fortsatz unterscheidet sich sehr deutlich von den Bindegewebsbalken, welche wie Fortsätze des Knotens aussehen, durch sein fein granulirtes Wesen und sein differentes Lichtbrechungsvermögen. Es scheint, dass es sich auch hier um Ganglienzellen handelt.

Ihr Eingeschlossensein in eine mit Kernen besetzte Bindegewebshülle erinnert an das Verhalten der Nervenzellen in den Ganglien des *Sympathicus*.

Ein weiterer Formbestandtheil der in Rede stehenden Drüse, an welchem das Gerüste einen wesentlichen Antheil nimmt, ist ein Anhang an das Gefässsystem. Die Gefässe der *Glandula thymus* aut. der nackten Amphibien verhalten sich ganz so, wie die Gefässe in der von mir beschriebenen *Glandula thyreoidea* derselben Thierclasse (diese Berichte Bd. LVII. 1). Auch in der *Thymus* finde ich als Anhang an das Gefässsystem, und — wie ich gleich zeigen werde — in vielfacher directer Verbindung mit ihm ein Leitungssystem, welches in seinen Bahnen dem Gerüste der Drüse folgt, dessen Wandungen lediglich aus Elementen dieses Gerüstes bestehen, welches in seinem Lumen für die Passage eines Blutkörperchens durchwegs zu enge ist, welches somit nur Plasma führen, dieses aber in eine sehr innige Berührung mit den Elementen der Drüse bringen kann. — Gegen diese Auffassung von Injectionsresultaten hat Dr. Toldt in seiner citirten Schrift Einsprache erhoben.

Er behauptet, ich hätte Extravasate vor mir. Die Gründe, die er für seine Auffassung beibrachte, veranlassten mich, die Sache abermals vorzunehmen und auf jedes seiner Bedenken einzugehen; doch hat mich diese erneuerte, sorgfältigere Untersuchung nur in meiner früheren Anschauung bestärkt.

Ich habe zunächst dem Vorwurfe ausweichen wollen, ich hätte an Winterfröschen gearbeitet, „bei welchen alle Gewebe zerreisslicher sind.“ Als ich an Sommerfröschen die l. c. beschriebene Selbst-

injectionsmethode in Anwendung brachte, gab sie mir, wahrscheinlich wegen der energischeren Herzaction, überraschend glänzende Resultate. Die Bahnen, deren Präexistenz Dr. Toldt bezweifelt, füllten sich, ohne dass von aussen ein Druck angebracht wurde, durch die blosse Thätigkeit des Herzens sehr vollkommen. Die Physiologie verfügt nicht über viele Methoden, die, so wie diese, den natürlichen Bedingungen des thierischen Lebens entsprechen; ich glaube daher, dass diesem Argumente ein grosses Gewicht beizulegen ist.

Ferner habe ich mit dem von Prof. Hering construirten Druckapparate injicirt und schon ein Druck von 5 Centimeter Quecksilber genügt, um in einer Minute die Injectionsmasse in die strittigen Bahnen zu treiben. An keinem der auf diese Weise gewonnenen Injectionspräparate war etwas zu sehen, was wie ein Extravasat (im gewöhnlichen Sinne des Wortes) aussah. Dr. Toldt nennt aber auch solche Injectionsresultate Extravasate, welche einer Filtration der Masse durch die Gefässwände ihre Entstehung verdanken. Uns, die wir immer mit ziemlich leimhältiger Masse und stets mit demselben, in grösseren Mengen im trockenen Zustande vorräthigen, Berlinerblau arbeiten, sind derartige Filtrationen überhaupt noch nicht vorgekommen[1]), dass sie aber auch in meinem Falle nicht der Füllung der feinen Bahnen zu Grunde liegen, geht daraus hervor, dass erstens in diesem Falle die Gefässwände als Spur des Filtrationsprocesses eine blaue Tinction aufweisen müssten — was nicht der Fall ist — zweitens aber kenne ich die Wege, auf denen die Masse in die feinen Bahnen gelangt, und habe eben gesehen, dass diese Wege ganz bestimmte drehrunde Durchbohrung der Gefässwand — Stigmata sind. Diese Stigmata sind keine Hypothese zu Gunsten der Erklärung eines Factums ausgedacht, sondern ich habe sie gesehen, injicirt und in Fig. 4 eines derselben abgebildet. Durch sie gelangt das Blutplasma, sowie die Injectionsmasse unmittelbar in das Gewebe des Gerüstes, indem an der äusseren Oeffnung des Stigma's der etwas verbreiterte Fuss eines Gerüstbalkens aufsitzt. Wenn ich in meiner ersten Schrift gesagt habe, dass auf diese Weise das Plasma einen Weg zu den Gewebselementen findet „ohne das Gefässinnere zu verlassen,“ was Dr. Toldt veranlasst hat, eigene Wan-

---

[1]) Die einzige Ausnahme bilden Filtrationen, welche in unserem Laboratorium vor Jahren bei der Injection von Darmzotten vorgekommen sind; doch injiciren wir jetzt ohne besondere Vorsichtsmassregeln anzuwenden, ziemlich viele Därme, ohne dass uns eine Filtration vorkommt.

dungen zu vermissen, so habe ich damit eben nur gemeint, dass diese Bahnen sich mit Blutplasma füllen, ohne dass in irgend einem Sinne eine Extravasation vorangegangen ist. Diese Meinung muss ich nach dem vorhergehenden vollständig aufrecht halten und sie auch aus ganz denselben Gründen für das Gefässystem in der *Glandula thymus aut.* der nackten Amphibien aufstellen.

Eine Uebergangsstufe von den gewöhnlichen Gefässverhältnissen zu den so eben beschriebenen bildet die Art der Vascularisation der Winterschlafdrüse der Säugethiere. Hofrath Prof. Dr. Th. Billroth war so freundlich, meine Aufmerksamkeit auf dieses Organ zu lenken und hatte zugleich die Güte, mir die letzte Arbeit über die Winterschlafdrüse mitzutheilen. Es ist dies die Inauguraldissertation von H. Hirzel, Zürich 1861. Hirzel stellt die Drüse ganz richtig dar als aus einem sehr fein granulirten Gerüste bestehend, welches von bedeutender Mächtigkeit ist und vollkommen geschlossene kugelige Räume von verschiedener Grösse freilässt. Das Organ ist gebaut wie eine blasige Lava, eine Schlacke.

Die einzelnen mikroskopischen Hohlräume umschliessen, wie Hirzel richtig bemerkt, Fettkugeln und nicht Fettzellen. Doch muss ich mich gegen die Ansicht Hirzel's aussprechen, dass von den Wänden der Hohlräume in deren Cavum hinein, feinste, verzweigte Reiser, Fortsätze des Gerüstmaterials hineinragen.

Ich halte diesen Befund, dessen Werth übrigens Hirzel selbst anzweifelt, für ein Resultat der damals üblichen unvollkommenen Methoden, für ein durch das stundenlange Erhitzen des Organes oder durch Anwendung gewisser Reagentien hervorgebrachtes Gerinnsel. Ich konnte etwas derartiges bei sehr starken Vergrösserungen niemals sehen. Ein interessanter Befund, dessen Hirzel in seiner sonst gründlichen Arbeit keine Erwähnung thut, ist das Eingeschlossensein von mikroskopischen Lymphdrüsen in der Drüse.

Die Lymphdrüsen liegen wie Inseln in der übrigen Masse des Organes; die Umgebung einer jeden solchen Insel, besonders die Adventitia der in dieser Umgebung verlaufenden Arterien, ist wie infiltrirt mit Lymphkörperchen.

Was nun das Verhalten der Gefässe in diesem Organe anlangt, so steht es dem in den oben beschriebenen Drüsen insoferne nahe, als auch in der Winterschlafdrüse eine Aushöhlung des Gerüstbalkens dem Blute seinen Weg vorzeichnet, und so ziemlich alle Gerüstbalken Blut führen; doch ist bei der Winterschlafdrüse die Weite selbst der engsten Bahnen eine nicht unter die capillare heruntergehende, ferner ist hier überall mindestens eine Spur von eigenen

Gefässwandungen in Form von Verdichtung des Gerüstmateriales an den Ufern des Strombettes, in Form von hie und da angelagerten Kernen nachzuweisen. Es sind somit diese Gefässe der Winterschlafdrüse, was den Bau ihrer Wandungen, Grösse und Gleichmässigkeit ihres Kalibers anlangt, zu den gewöhnlichen Capillargefässen zu stellen, bezüglich der Art ihres Verlaufes erinnern sie aber an die oben von mir beschriebenen Gefässe.

Erklärung der Abbildungen auf Tafel II.

Fig. 1. Knoten aus dem Gerüste der *Gl. thymus* des Frosches, eine Ganglienzelle einschliessend. Vergr. 490.

Fig. 2. Zellen aus der *Gl. thymus* des Frosches a. im frischen Zustande, b. nach Behandlung mit doppeltchromsaurem Kali. Vergr. 400.

Fig. 3. Ganglienzelle aus der *Gl. thymus* des Frosches. Vergr. 400.

Fig. 4. Schnitt aus einer mit farblosem Leim injicirten, mit Karmin gefärbten *Gl. thyreoidea* des Frosches. Vergr. 400.

Fig. 5. Feiner Schnitt aus der *Gl. thyreoidea* des Frosches, gepinselt, um das Gerüste und die Identität der von mir injicirten Bahnen mit demselben zu zeigen. Vergr. 620.

Fig. 6. Schnitt aus einer gefässarmen Stelle der Winterschlafdrüse von *Spermophilus citillus,* mit gleichmässigen kleinen Blasenräumen. Vergr. 220.

Fig. 7. Gefässreichere Stelle aus demselben Organ: grössere Blasenräume angeschnitten, aus der Tiefe ein feinblasigeres Fachwerk durchschimmernd. Vergr. 620.

Ueber die Wirkung von Borsäure auf frische Ganglienzellen.

(Aus dem physiologischen Institute der Wiener Universität. Vorgelegt in der Sitzung am 19. Mai 1870.)

(Aus dem LXI. Bde. d. Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. II. Abth. Mai-Heft. Jahrg. 1870.)

(Hierzu Tafel III.)

Ich fand mich veranlasst, zu untersuchen, ob sich durch die Einwirkung von Borsäurelösung bei den Ganglienzellen eine ähnliche Trennung von Formelementen bewirken lässt, wie solche zuerst an den Blutkörperchen von Tritonen auf Anwendung dieses Reagens beobachtet wurde[1]).

Die Verhältnisse waren bei den Ganglienzellen von vornherein weniger günstig, als bei den Blutkörperchen. Während das Blut unmittelbar aus dem gesunden und ganzen Organismus in die Borsäurelösung fliesst und wieder aus dieser, ohne irgend einen anderen als den chemischen Eingriff erfahren zu haben, unter das Mikroskop gebracht wird, bedingt sowohl die grob anatomische Präparation des Ganglions und seine Lostrennung vom Organismus, als auch die der Beobachtung mit stärkeren Linsen nothwendig vorhergehende fein mikroskopische Präparation einen Aufwand von Zeit und von mechanischen Insulten, welcher möglicherweise den Erfolg beeinträchtigen kann.

Als Untersuchungsobjecte dienten mir die Nervenzellen des Ganglion semilunare (Gasseri) des Frosches. Der Frosch wird geköpft, dann werden möglichst rasch die Decken seiner Schädelhöhle und das Gehirn entfernt und nun wird der das gesuchte Ganglion einhüllende Brei von CO_2CaO Krystallen entweder mit einem mit Borsäurelösung befeuchteten Pinsel abgepinselt oder mit dem feinen Strahl einer mit 1 procentiger Borsäurelösung gefüllten Spritzflasche abgespült und dann das Ganglion aus seiner Knochenmulde mit

---

[1]) E. Brücke: Ueber den Bau der rothen Blutkörperchen; diese Berichte 56. Band, 2. Abtheilung pag. 79.

einer feinen Schere herausgeschnitten. Die ganze Procedur nimmt nicht mehr, als höchstens eine Minute Zeit in Anspruch. Das Ganglion wird dann sogleich in ein Urgläschen gelegt, in welchem sich eine 1 percentige Lösung von geschmolzener Borsäure befindet. Nachdem es in dieser Flüssigkeit durch einige Minuten gelegen hat, wird es unter der Loupe auf einem Objectträger in einem Tropfen der genannten Lösung mit feinen Nadeln möglichst schonend zerzupft und das so gewonnene Präparat nach Entfernung der grösseren Stücke aus demselben sogleich mit einem Deckglase bedeckt und angesehen. Der Umstand, dass diese letzte Operation, die Isolirung einzelner Zellen und Zellengruppen, beim Ganglion Gasseri des Frosches verhältnissmässig leicht und ohne Anwendung einer grösseren Gewalt gelingt, bewog mich, nächst der relativ leichten Zugänglichkeit desselben zur Benützung dieses Objektes für meine Untersuchung. Die sehr überwiegende Mehrzahl der auf diese Weise zur Anschauung gebrachten Ganglienzellen zeigt ein von dem bekannten Schema nicht sehr abweichendes Aussehen. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich aber im Zellenleibe eine Abgrenzung der Masse in kugelige Massen und ein Unterschied in den Brechungsverhältnissen der globulären und der interglobulären Substanz — mit diesen Namen will ich einstweilen die die kugeligen Massen bildende und die zwischen denselben enthaltene Substanz belegen. Die Contouren der globulären Substanz sind nahezu oder vollkommen kreisrund und eigenthümlich fein und weich. Der Kern wird mitunter in seiner Form verändert gefunden in der Art, dass die Kreislinie seines Contours unterbrochen erscheint und es aussieht, als hätten sich mehrere Globuli in seine Masse eingedrängt oder auch so, als sendete der Kern Fortsätze seiner eigenen Substanz in die Zwischenräume der globulären Substanz, so dass wir Kernsubstanz und interglobuläre Substanz für identisch oder für ineinander fliessend halten müssen. Genaues Einstellen belehrt darüber; dass man es hier nicht etwa mit der perspectivischen Ueberschneidung von Kreisen zu thun hat, die in verschiedenen Ebenen liegen, sondern dass wirklich die Kernfortsätze ein Continuum mit der interglobulären Substanz bilden.

Beeinträchtigt schon dieser Befund die allgemeine Giltigkeit des Satzes, dass der Kern ein fortsatzloses, kugel- oder bläschenförmiges Gebilde sei, so geschieht dies noch weit mehr durch die Beobachtung von solchen Zellen, deren Ansehen sich weiter von dem gewöhnlichen Schema entfernt. Man wird nämlich nicht leicht ein auf die oben geschilderte Art angefertigtes Präparat aufmerksam durchsuchen, ohne auf die gleich näher zu beschreibenden Bilder

zustossen, aus denen sich der Satz ergibt, dass aus frischen Ganglienzellen, welche der Einwirkung einer schwachen Borsäurelösung ausgesetzt sind, die Kerne austreten.

In den unveränderten oder in den mit den gebräuchlichen Reagentien behandelten Ganglienzellen liegt der Kern zwar nicht immer central, aber doch nur in dem Sinne wandständig, dass immer eine deutlich wahrnehmbare Protoplasmaschichte ihn von der Oberfläche der Zelle trennt. An manchen der mit Borsäurelösung behandelten Zellen des Ganglion semilunare des Frosches aber sieht man den Kern in unmittelbarem Contacte mit der Oberfläche der Zelle, an anderen überragt er mit einem grösseren oder geringeren, verschieden gestalteten Antheile die Zelloberfläche, und endlich findet man sowohl kernlose — sonst vollkommen erhaltene — Zellen, als auch freie Kerne, und zwar die letzteren häufig genug und insbesondere dann, wenn keine Strömung in der Flüssigkeit, in welcher das Präparat liegt, stattgefunden, in unmittelbarster Nähe, in Berührung mit kernlosen Ganglienzellkörpern. Davon, dass es wirklich die Kerne sind, welche austreten, habe ich mich unter anderem auch durch die Anwendung von Borsäurekarmin überzeugt. Dieser tingirt das Zellprotoplasma blass, die Kerne dagegen intensiv roth. — Der austretende Kern wandert nicht immer als Kugel aus, in den meisten Fällen verändert er seine Gestalt während des Austrittes bedeutend, nimmt aber, gänzlich frei geworden, immer die Kugelgestalt an. Ich will gleich hier sagen, dass ich niemals die ganze Reihe der Veränderungen an einer und derselben Zelle beobachtet habe, wohl aber die verschiedenen Stadien an verschiedenen Zellen, und dass sich auf Combination dieser Beobachtungen meine Angaben gründen. Der Kern ist selbst in solchen Fällen, in denen er noch vollständig in der Zelle, aber schon nahe an einem Punkte ihrer Oberfläche liegt, oft birnförmig ausgezogen, so als bestände er aus einer weichen, elastischen Substanz und wäre an einer Stelle festgehalten worden. Immer liegt das breite Ende der Birne näher an der Peripherie der Zelle, als das spitze; dieses ist nicht scharf begrenzt, sondern verliert sich zwischen den Kugeln der Zellsubstanz, scheint also ein Continuum mit der interglobulären Substanz zu bilden. Häufig genug zieht der Kern statt des einen zwei oder mehrere solche Schwänze in der Zelle nach sich. Oft hat auch das Kernkörperchen schon in diesem Stadium an den Veränderungen theilgenommen, dadurch, dass es sich zu einem apfelkern- bis stäbchenförmigen Gebilde, dessen Längsachse mit der Austretungsrichtung des Kernes übereinstimmt, ausgezogen hat. In einem späteren Momente ist ein Theil des Kernes bereits

frei geworden. Die Höhle in der Zelle, in welcher der Kern liegt, muss nun nothwendiger Weise durch ein Loch mit der Umgebung communiciren und man sieht auch ganz deutlich an der dem Beschauer zugewendeten Lippe der Oeffnung das kernige Protoplasma aufhören und zwar mit einem in seichten Biegungen gewellten oder in stumpfen Winkeln gebrochenen Rande, der dem eben durchtretenden Stücke des Kernes anliegt[1]). Mitunter erscheint der Kern durch die Ränder des Loches, durch welches er austritt, eingeschnürt und besteht dann aus einem intracellulären und einem extracellulären Antheile, welche durch einen Hals zusammenhängen. Das Kernkörperchen befindet sich fast immer in dem ausserhalb der Zelle gelegenen Antheile des Kernes und hat sich oft schon sehr weit von der gewöhnlich an ihm beobachteten Kugelgestalt entfernt. Beobachtet man eine Zelle, aus welcher der Kern bereits zum grossen Theile ausgetreten ist, so bemerkt man mitunter an einer extracellulären Stelle der Oberfläche des letzteren ein grösseres oder kleineres Stückchen von Zellsubstanz haften. Gewöhnlich sieht man einen der oben beschriebenen Ausläufer des Kernes in dieses Klümpchen sich erstrecken und ein Continuum bilden mit der interglobulären Substanz desselben. Endlich sieht man Bilder, an denen der Kern zum allergrössten Theile sich bereits ausserhalb der Zelle befindet. In diesem Stadium hat der Kern meistens wieder eine sphärische Form angenommen und ist nun wieder in allen seinen Durchmessern grösser, als der grösste Durchmesser des Loches, durch welches er austrat — ein Umstand, den ich hier bloss hervorhebe, um mich nachher auf ihn zu berufen. Fig. 2 veranschaulicht dieses Stadium und zeigt zugleich die noch immer in die Zelle hineinragenden Ausläufer des Kernes und ihr Zusammenfliessen mit der interglobulären Substanz. Die Reihe wird geschlossen durch die schon oben erwähnten Bilder kernloser Zellen und freier Zellkerne.

Indem ich die allerdings verführerische Gelegenheit, auf diese Reihe von Bildern und die nothwendig aus ihr folgende Annahme eines Auswanderns der Kerne aus den Nervenzellen, weitere Schlüsse über das Wesen dieser Gebilde zu bauen, vorübergehen lasse; will ich jetzt nur diejenigen Sätze aufzählen, von denen es mir scheint, dass man sie als die unmittelbaren Folgerungen des Beobachteten zugeben müsse.

---

[1]) Diese Form der Ränder entspricht vollkommen der hier supponirten Zusammensetzung der Zellen aus globulärer und interglobulärer Substanz.

1. Die Ganglienzellen aus dem Ganglion Gasseri des Frosches haben keine Zellmembran.

2. Der Leib dieser Zellen besteht aus einer weichen Substanz, welche entweder immer in kugelige Massen abgetheilt ist oder sich nach Borsäure-Einwirkung in solche theilt. Zwischen diesen Kugeln liegt eine das Licht anders brechende Zwischensubstanz.

3. Der Kern dieser Zellen ist nicht das kugelige, allseitig abgegrenzte Gebilde, für welches man ihn meistens hält, sondern er hat die mannigfaltigsten Formen und sendet vor allem Ausläufer in das Innere der Zelle, welche mit der Zwischensubstanz zwischen den Kugeln des Zellleibes zusammenhängen und welche, wenigstens in ihrem dem Kerne zunächst gelegenen Antheile aus derselben Substanz bestehen, wie der Kern.

4. Diese Substanz ist weich, elastisch und entweder contractil oder sehr quellungsfähig, in dem Sinne, dass sie ihre äussere Gestalt durch Diffussionsveränderungen in ihrem Innern leicht und rasch ändert (s. pag. 17).

5. Das Kernkörperchen ist ebenfalls weich und elastisch, besitzt aber höchst wahrscheinlich keine eigene Contractionsfähigkeit, sondern seine Form- und Lageveränderungen sind durch die Gestalts- und Ortsveränderungen des Kernes bedingt.

6. Unter der Einwirkung einer schwachen Borsäurelösung tritt aus diesen Zellen häufig der Kern aus. Dieser Vorgang kann nicht ohne weiteres auf einen einfachen Quellungsprocess zurückgeführt werden, da die Erscheinung im destillirten Wasser nicht wie in der Borsäure beobachtet wird.

7. Von einer fibrillären Anordnung habe ich an diesen Objecten selbst mit Hartnack's Immersionslinse Nr. XV nie etwas gesehen.

Die Abbildungen sind nicht schematisch, sondern entsprechen wirklich gesehenen Bildern.

Die dunkel gehaltenen Kreise in Fig. 1 stellen die in vielen Zellen des Ganglion Gasseri des Frosches enthaltenen gelben Fetttropfen dar.

Das Ovarium masculinum.

(Aus dem Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1871.)

Der Namen „Ovarium masculinum“ gebührt, wie ich meine, dem bisher als „ungestielte Morgagni'sche Hydatide“ bezeichneten Gebilde am menschlichen Hoden. Bevor ich an die Begründung dieser Ansicht gehe, muss ich sagen, dass die in der Literatur enthaltenen Beschreibungen der „ungestielten Hydatide“ den Thatsachen nicht entsprechen. Die „ungestielte Hydatide“ ist vor allem keine Hydatide, kein Hohlgebilde, sondern ein solider Körper; auch die Bezeichnung „ungestielt“ ist nicht charakteristisch, denn das besprochene Organ sitzt nicht nur in der Mehrzahl der Fälle mit einem deutlichen Halse oder Stiel auf, sondern dieser letztere übertrifft mitunter sogar an Länge den Stiel einer auf demselben Hoden befindlichen „gestielten Hydatide“. Die „ungestielte Hydatide“ wird ferner nicht von dem visceralen Blatte der Tunica vaginalis propria (oder ihrem Epithel) überzogen, obwohl sie frei in die Höhle derselben hineinhängt; sondern das seröse Epithel (Endothel) dieser Haut hört ringsum an der Basis der „ungestielten Hydatide“ mit einem scharfen, manchmal mit freiem Auge wahrnehmbaren, Rande auf, und es beginnt — an demselben Rande — ein deutliches Flimmerepithel. Es steht somit die „ungestielte Hydatide“ des Mannes zum Epithel und zur Höhle der Tunica vaginalis propria in ganz demselben Verhältnisse, in welchem beim Weibe der Eierstock zum Epithel und zur Höhle des Peritonaeums[1]) steht. — Die „ungestielte Hydatide“ hat ein echtes Schleimhautepithel, welches aus Flimmerzellen besteht, deren Cilien von mir an der Leiche eines

---

[1]) Siehe: Waldeyer, Eierstock und Ei, Leipzig 1870, eine Arbeit, auf die ich mich hier ein für allemale beziehn. Wer sie gelesen hat, wird sehen, wie eng sich das hier Mitgetheilte an sie anschliesst. Ich hätte, ohne Waldeyer's Resultate zu kennen. die Ergebnisse meiner Untersuchung nicht zu deuten gewusst.

52 Jahre alten Mannes noch 46 Stunden nach dem Tode in Bewegung gesehen wurden. Nur an Objecten die noch keineswegs der Fäulniss anheimgefallen sind, lassen sich die Flimmerhaare deutlich erkennen, an einigermassen macerirten Objecten meint man ein einfaches Cylinderepithel vor sich zu haben. — Unter diesem Epithel liegt nun das eigentliche Stroma der „ungestielten Hydatide", ein zartes, ziemlich kernreiches Bindegewebe, welches von auffallend vielen Gefässen durchzogen ist, die dicht unter der Oberfläche ein reiches Netz bilden. Hieraus und aus der Art des Epithels erklärt sich das Aussehen des ganzen Gebildes im frischen Zustande. Die „ungestielte Hydatide" sticht gegen die spiegelnde, weisse, mitunter bläuliche Umgebung durch ihre mattere, gelbröthliche Oberfläche ab. — In das Stroma der „ungestielten Hydatide" senken sich kürzere und längere, schlauchartige Fortsätze des Epithels ein, welche mit einem blinden Ende abschliessen. Um diese Schläuche herum ist die Verzweigung der Blutgefässe eine etwas reichere. — Das Epithel, mit welchem diese Schläuche ausgekleidet sind, ist gleichfalls ein aus Cylinderzellen zusammengesetztes; die Cylinder gleichen vollkommen denen des Oberflächenepithels, doch kann ich nicht für bestimmt behaupten, dass sie Cilien tragen. — Die Frage, ob abgeschnürte Theile solcher Schläuche (den Eiballen entsprechend) vorkommen, ist nach Schnittpräparaten schwer zu beantworten.

Nach dem hier Mitgetheilten ergiebt sich die Analogie der „ungestielten Morgagni'schen Hydatide" mit dem Ovarium wohl von selbst. Wie das Ovarium beim Weibe das einzige Organ ist, welches wirklich intra cavum peritonaei liegt, so ist die „ungestielte Hydatide" beim Manne das einzige Organ, welches wirklich intra cavum processus vaginalis oder — was dasselbe ist — intra cavum peritonaei liegt. Wie am Ovarium, so hört auch hier an der Basis des Organes das seröse Epithel mit einem scharfen Rande[1]) auf. An beiden Organen findet sich echtes Schleimhautepithel aus cylindrischen Zellen, mit schlauchförmigen Einstülpungen in das ebenfalls an beiden Organen gleichartig gebaute Stroma. Das Epithel auf der „ungestielten Hydatide" muss ich für einen Abkömmling des Keimepithels (Waldeyer) halten, dem ja bekanntlich die Fähigkeit, zu Flimmerepithel zu werden, nicht abgeht (Müller'scher Gang, Tuba, Ovarium einiger Fische, Flimmerepithelstrassen auf dem Peritonaeum der Frösche u. a. m.) Das durch die Zwischenlagerung des Wolff'schen

[1]) der übrigens einige, später ausführlich zu beschreibende Eigenthümlichkeiten darbietet.

Körpers von dem übrigen abgetrennte obere Stück des Keimepithels atrophirt beim männlichen Embryo nicht, sondern es erhält sich — ganz oder zum Theile — und gelangt im Verlaufe der weiteren Entwickelung mit denjenigen Antheilen der Urniere, deren Aussenfläche es überzieht, an seinen definitiven Standort, die Furche zwischen Hoden und Kopf des Nebenhodens. — Man könnte einwenden, dass die „ungestielte Hydatide" eine zu wenig constante Bildung sei, als dass man ihr die von mir behauptete Bedeutung beimessen könnte. Dagegen liesse sich bemerken, dass erstens an einen zwar genetisch aber nicht physiologisch begründeten Körper der Anspruch regelmässigen Vorkommens im Erwachsenen nicht erhoben werden darf, dass aber zweitens die „ungestielte Hydatide", wenn nicht eine unbedingt immer vorhandene, so doch eine nur äusserst selten fehlende Bildung ist. Ich habe unter allen Objecten, die ich untersuchte, auch nicht eines gefunden, an dem sich nicht wenigstens eine mit Flimmerepithel überzogene kleine Stelle in der Nähe der Furche zwischen Hoden und Kopf des Nebenhodens direct, oder nach Behandlung mit Silber hätte nachweisen lassen. —

Den Namen „Ovarium masculinum" rechtfertige ich durch die Beziehung zum Keimepithel, durch die Analogie im Bau und weise noch auf den längst eingebürgerten Namen „Uterus masculinus" für den Sinus prostaticus und seine Umgebung hin.

Zur Anatomie der Hirnoberfläche.

(Aus dem Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1871.)

Man ziehe von der Oberfläche eines Gehirnes die pia mater so sorgfältig ab, dass eine von derselben entblösste Stelle des Gehirnes nicht wieder mit ihr in Berührung kommt, bringe dann eine solche nackte Hirnwindung in eine halbprocentige Silberlösung und nach einigen Minuten in destillirtes Wasser. Nach kurzer Zeit hat sich die Oberfläche braunroth gefärbt und hat einen metallischen Schimmer angenommen. Nun fahre man mit der Schneide einer Staarnadel so zart über die Hirnoberfläche weg, als möglich; hierbei wird man Bruchstücke eines feinsten Schleiers loslösen, der wie ein zarter Schlamm die Hirnoberfläche bedekte. Solche Bruchstücke, in Glycerin bei starker Vergrösserung angesehen, zeigen sich als eine Schichte von eng aneinander liegenden, polygonalen, ebenen Feldern aller Grössen von der eines Kernkörperchens bis zu der einer farblosen Blutzelle.

Ich gehe aus bekannten Gründen bei der Deutung solcher durch Silber hervorgerufener Zeichnungen, wo immer ich sie finde, vorsichtig, ja misstrauisch zu Werke, wenn es mir nicht gelingt, ein ihnen zu Grunde liegendes anatomisches Substrat noch auf irgend eine andere Weise zur Anschauung zu bringen. Selbst der Umstand, dass sich auf der Hirnoberfläche, wenn man sie nach der üblichen Methode mit Goldchlorid behandelt, Figuren hervorrufen lassen, welche den eben beschriebenen äusserst ähnlich sind, nur feinere und rundere Contouren zeigen, konnte mich nicht bestimmen anzunehmen, dass ich es hier mit einer aus Zellen zusammengesetzten Haut zu thun habe, welche die Hirnoberfläche unmittelbar überzieht. Eigentliche Kerne konnte ich nach keiner dieser beiden Methoden mit Sicherheit erkennen, wohl aber nach Behandlung mit Gold Bilder, welche leicht zu einer Verwechselung mit Kernen Anlass geben könnten. Es liegen nämlich zwei Schichten von Feldern über-

einander, von denen die tiefere kleinere Felder enthält als die andere. Da nun der Tiefendurchmesser eines solchen Feldes äusserst gering ist, kann man leicht in die Täuschung verfallen, die Felder der einen Schichte für Kerne in den Feldern der anderen zu nehmen.

Erst die Untersuchung der Hirnoberfläche von Individuen, die an Entzündung der inneren Hirnhaut verstorben waren, veranlasste mich, diese Felder in directere Beziehung zu Zellcontouren zu setzen, dadurch, dass sie mir Gelegenheit bot, an vielen derselben je ein oder mehrere unzweifelhaft in ihnen gelegene kernartige Gebilde, eine leicht nachweisbare Dickendimension und schliesslich alle Uebergangsformen zu Eiterzellen wahrzunehmen. — Weiteren Untersuchungen bleibt es vorbehalten, Aufklärung über diese Schichte von Feldern zu bringen (ihre etwaige Beziehung zu einem Lymphraume festzustellen), und ich möchte mir nur einstweilen den Vorschlag erlauben, sie mit dem möglichst wenig präjudicirenden Namen „Hirnhäutchen, cuticulum cerebri et cerebelli“ zu belegen.

Wien, 26. September 1871.

Zur Geschwulstlehre.

(Aus den Med. Jahrb. herausgegeb. v. d. K. K. Gesellsch. d. Ärzte in Wien. 1872.)

A. Hirntumoren.

(Hierzu Tafel IV und V.)

Ich darf hoffen, auf keinen grossen Widerspruch zu stossen, wenn ich den heutigen Zustand der Geschwulstlehre einen unerquicklichen nenne. Ein zwar grosses, aber sehr ungleichmässig bearbeitetes Material steht zu Gebote, ein aus der Betrachtung dieses Materiales selbst sich ergebender Eintheilungsgrund fehlt hingegen gänzlich. Die bisher zur Classificirung der Tumoren eingenommenen Standpunkte scheinen mir sämmtlich ausserhalb der pathologischen Anatomie als einer reinen Naturwissenschaft gelegen zu sein. Species und Classe stehen in der Onkologie noch häufig genug nicht unter, sondern neben einander; fast jede gut untersuchte Geschwulst erheischt für sich eine neue Kategorie und in gewissen Gebieten dieser Lehre kennen wir beinahe ebensoviele Geschwulstarten, als einzelne Geschwülste untersucht sind. — Unter solchen Verhältnissen konnte mir der Gedanke nicht verlockend erscheinen, die Anzahl der ausführlich beschriebenen, „eigenthümlichen“ Tumoren durch die Beschreibung einiger neuer zu vermehren, die mir ja bei dem grossen Materiale, welches mir zur Verfügung steht, nicht hätte schwer fallen können. Der Grund, aus welchem ich die folgenden Beschreibungen verfasst habe, liegt somit nicht in Eigenthümlichkeiten des Baues der betreffenden Objecte, sondern vielmehr darin, dass sich an ihnen Beobachtungen anstellen liessen, die geeignet waren, auf Fragen von etwas allgemeinerer Bedeutung ein Licht zu werfen.

I.

In der Leiche des 26 Jahre alten P. S. fand sich ausser tuberculöser Phthise der Lungenspitzen und theilweiser Verwachsung des Herzens mit dem Herzbeutel, ein Tumor des rechten Sehhügels vor.

Das Sectionsprotocoll (Nr. 56655) beschreibt den Schädelbefund folgendermassen.

„Das Schädeldach von gewöhnlicher Dicke, compact, die harte „Hirnhaut straff gespannt, die inneren Hirnhäute blutreich, das Ge-„hirn teigig, schwellend anzufühlen, seine Windungen mässig abge-„plattet, sein Mark schmutzig-weiss, blutarm. Der rechte Sehhügel „um etwa ein Drittel vergrössert, seine Oberfläche durch mehrere „kleine und drei erbsengrosse Höcker uneben und sowie der Durch-„schnitt an verschiedenen Stellen grauröthlich durchscheinend und „rothbraun opak. Viele bis hanfkorngrosse Stellen der Sehhügel-„substanz sind weisslich-gelb, an der Peripherie etwas durch-„scheinend; in der nächsten Umgebung dieser Stellen befinden sich „die erwähnten rothbraunen. Die Consistenz des Ganzen ist schleimig-„gallertig, sehr weich, an den gelblichen Stellen, welche auch über „die Schnittfläche prominiren, etwas dichter. Die Hirnsubstanz in „der Umgebung des rechten Sehhügels schwach ödematös. Im linken „Seitenventrikel etwa $1^1/_2$ Unzen, im rechten $^1/_2$ Unze klaren Serums, „das Ependym derselben verdickt, rauh, derber."

Die höchst dürftigen Nachrichten von dem Kranken beschänkten sich auf die Constatirung von Sehstörung und Lähmung. Art und Grad beider Symptome nicht zu eruiren.

Die Geschwulst wurde frisch untersucht, sodann in zwei Theile getheilt, von welchen der eine in Alcohol, der andere in Chromsäure erhärtet wurde.

Die Aufzeichnung über den Befund am frischen Präparate, welche ich damals in mein Protocoll schrieb, lautet wörtlich: „An „vielen Stellen die Sehhügeltextur ziemlich wohl erhalten, von einer „etwas grösseren Masse von Bindegewebe durchsetzt. Viele an-„scheinend intacte Ganglienzellen. An anderen Stellen eine auf den „ersten Anblick diffuse Anhäufung von kleinen, runden Zellen, die „jede andere Textur verdecken, sich mit Carmin gut imbibiren. Bei „genauerer Betrachtung sind diese Herde längs der Gefässe beider-„seits in je einer breiten Strasse angeordnet und von hier aus „deutlich in geringerer Dichtigkeit in das umgebende Gewebe in-„filtrirt. Die Gefässe selbst theils bluthältig, theils comprimirt und „anscheinend in bindegewebige Stränge verwandelt, längs deren, wie „eine Belegmasse die erwähnten Zellen auftreten. Allem Anscheine „nach sind diese letzteren Lymphkörperchen, welche sich in colossal „erweiterten, perivasculären Lymphräumen befinden und in der be-„schriebenen Form einerseits das von ihnen umschlossene Gefäss, „andererseits das sie umgebende Gewebe alteriren. Jedenfalls findet

„das Wachsthum der Geschwulst längs der perivasculären Lymph- „räume statt.“ Nach diesem Befunde stellte ich die vorläufige Diagnose: „Lymphoma perivasculare thalami optici“.

Die genauere Untersuchung der gehärteten Geschwulst ergab nun Folgendes: In bestimmten Gebieten des Tumors ist eine sofort näher zu beschreibende Masse von einem Gefässnetze durchzogen, dessen einzelne Balken sich wesentlich von einander unterscheiden. Manche Gefässe befinden sich im Zustande äusserster Ausdehnung durch Blut, andere sind vollständig zusammengefallen oder vielmehr, wie gleich gezeigt werden soll, zusammengedrückt. Es sind nämlich sämmtliche Gefässe eines solchen Gebietes unmittelbar umgeben von einer — in ihrer Dicke schwankenden — Masse von kleinen Zellen, die sich in Carmin stark imbibiren, von ihrem grossen Kerne fast vollständig ausgefüllt werden und nur eine dünne Schale von eigentlichem Protoplasma zeigen. Diese Zellen lagen dicht gedrängt aneinander von der Oberfläche des Gefässes bis gegen eine Linie zu, die vom Gefässe selbst um 2—5 Zellreihen, um die Breite des Gefässes oder selbst um ein Mehrfaches derselben entfernt sich dahinzieht (Taf. IV Fig. 1). An manchen Stellen findet die Zellansammlung in der Umgebung des Gefässes an dieser Linie ihre vollständige Begrenzung; das an sie anstossende Gewebe unterscheidet sich in nichts Wesentlichem von der normalen Sehhügeltextur.

An anderen — zahlreicheren — Stellen ist die besprochene äussere Grenzlinie immerhin vorhanden, aber nicht so scharf, indem sie nicht, wie früher beschrieben, die dichte Anhäufung von Zellen gegen normales Hirngewebe, sondern nur gegen eine weniger dichte Anhäufung derselben Zellen abgrenzt, die von dieser Linie ab um so weniger dicht erscheint, je entlegener sie vom Gefässe ist. Eine wirkliche Wand, die sich durch einen doppelten Contour charakterisiren würde, habe ich an Stelle dieser Linie nicht beobachten können — das will ich gleich hier bemerken. Die von solchen Zellenmassen umgebenen Gefässe waren sowohl Arterien und zwar mitunter ziemlich dickwandige von grösserem Kaliber (Taf. IV Fig. 2), als auch Capillargefässe und Venen. Ein Verhalten, welches sich ziemlich häufig nachweisen liess, war folgendes. Irgendwo im Verlaufe eines Gefässes pflanzt sich ein anderes ein, dessen Lymphscheide aufs äusserste ausgedehnt und mit Zellen dicht erfüllt ist. Von der Einpflanzungsstelle aus erstreckt sich nun die Anschoppung nach beiden Seiten im anderen Gefässe eine ganz kurze Strecke weit, um dann ohne weitere Vermittlung aufzuhören und dem normalen Verhalten Platz zu machen. Hierdurch kommt ein cylindrisches oder

ein spindelförmiges Aneurysma der Lymphscheide zu Stande, durch dessen Achse das Blutgefäss manchmal comprimirt und absolut blutleer, andere Male aber mässig, oder sogar übermässig mit Blut erfüllt hindurchzieht. An gut tingirten Präparaten ist bei Betrachtung mit schwacher Vergrösserung der Verlauf und die Verzweigung der Gefässe oft auf weite Strecken durch breite, roth gefärbte Streifen mit mehr oder weniger deutlicher, seitlicher Begrenzung ersichtlich, die rothen Streifen sind der Ausdruck der mit stark tingirten Zellen angefüllten Lymphscheiden.[1]).

Was nun die Umgebung der in normalen oder mit Zellen vollgepfropften Lymphscheiden verlaufenden Gefässe anlangt, so ist der Charakter derselben an verschiedenen Stellen sehr verschieden. Einer sachgemässen Darstellung zu Liebe wollen wir vier Typen unterscheiden, die aber, wie wohl kaum ausdrücklich zu betonen nothwendig ist, nicht scharf von einander getrennt, sondern vielmehr durch zahlreiche Zwischenglieder untereinander verbunden sind.

1. Form. Die Gefässe verlaufen durch normale Sehhügeltextur.
2. Form. Die Gefässe verlaufen durch ein in der oben angegebenen Weise mit Zellen infiltrirtes Gewebe.
3. Form. Die Gefässe verlaufen durch faseriges Bindegewebe in seinen — sogleich näher zu beschreibenden — verschiedenen Entwicklungsstadien.
4. Form. Die Gefässe verlaufen von einer dicken Bindegewebsschichte umgeben, innerhalb einer, bei schwacher Vergrösserung homogen, bei Anwendung stärkerer Systeme schollig-körnig aussehenden Masse, die sich in Carmin ziemlich rasch und tief tingirt.

Ad 1. und 2. Es treten Inseln von Gewebe auf, welches von Gefässen durchsetzt ist, deren Lymphscheiden mit Zellen vollgepfropft und von denselben stark ausgedehnt sind. Von diesen Lymphscheiden aus ist das gesammte Gewebe der Insel mit Zellen infiltrirt, am dichtesten in unmittelbarer Nähe je eines Gefässes (Taf. IV Fig. 1). An der Peripherie solcher, die 2. Form repräsentirender Inseln tritt eben die 1. Form auf. Es erstrecken sich nämlich die vollgestopften Lymphscheiden noch in gesundes Gewebe hinein; der Tumor entwickelt sich entschieden längs der Gefässe in den perivasculären Lymphbahnen und seine Elemente infiltriren sich von diesen her in das

---

[1]) Die Aehnlichkeit dieses Befundes mit dem der Retinitis leukaemica ist einleuchtend.

umgebende Gewebe. Das wird eben durch das Nebeneinander der beiden beschriebenen Formen unmittelbar ersichtlich.

Noch deutlicher in die Augen springend wird die eben geschilderte Verbreitungsweise von Hirntumoren an einem anderen Falle, den ich hier einschalten will. Derselbe betrifft ein Sarcoma melanodes, welches in vielfachen Knoten in der Haut, in den retroperitonäalen Lymphdrüsen längs der Bauchwirbelsäule und ausserdem in der Grosshirnrinde aufgetreten war. Die — etwa erbsengrossen — Knoten im Hirne zeigten dem freien Auge ein tiefdunkelbraunes Centrum und einen schmalen, lichtgraubraunen, gegen die Peripherie sich allmälig abschattenden Saum. Ich unterlasse eine Beschreibung der übrigen Details dieses Tumors und will nur soviel sagen, als nöthig ist, um die früher behauptete Analogie zu erweisen. Dünne Schnitte durch einen der schwarzen Knoten in die Hirnrinde zeigten, mit schwacher Vergrösserung beobachtet, folgendes Bild: Der ganze Knoten erscheint als eine braune Masse, in der nur hier und da einzelne, besonders grosse und dunkle Pigmentkörner sich besonders hervorheben. Von der Peripherie dieser Masse an, sind nach allen Seiten hin bis auf eine gewisse Tiefe die Gefässe wie mit Sepia injicirt. Genaueres Studium mit stärkeren Linsen belehrt darüber, dass die braune Masse nicht in den Gefässen, sondern dicht um dieselben herum in Form von Zellen liegt[1]), welche bald in ihrem Leibe, bald in ihrem grossen Kerne, bald in beiden zugleich Körner eines schwarzbraunen Pigmentes führen. Die Gefässe (sämmtlich capillarer Natur) verlaufen zwischen den, die perivasculären Räume anfüllenden, braunen Zellen in comprimirtem, zusammengefaltetem Zustande.

Ad 3. Die Umwandlung der die Lymphscheiden erfüllenden Zellen in Bindegewebe ist ein Process, der sich Schritt für Schritt deutlich verfolgen lässt. Die Zellen verlieren zunächst ihre Kugelgestalt und strecken sich zu kürzeren und sofort zu längeren Spindeln aus. Der Kern nimmt in erheblichem Masse Theil an dieser Gestaltveränderung, indem er sich zu einem langen dünnen Stäbchen umformt. Zugleich ist die ganze Masse feinstreifig geworden. Ob diese Streifung der Ausdruck einer fibrillären Anordnung im Innern des (primären) Zellfortsatzes ist oder ob sie durch das Beisammenliegen feinerer (secundärer) Fortsätze zu Stande kommt,

---

[1]) Nach einer mündlichen Mittheilung Prof. Waldeyer's hat derselbe an einer melanotischen Gehirngeschwulst eine der eben geschilderten ganz gleiche Anordnung der Geschwulstelemente beobachtet.

das ist eine Frage, die ich aus meinen Präparaten nicht entscheiden kann[1]). So regelmässig und häufig sich der eben beschriebene Umbildungsprocess an Zellen beobachten lässt, welche innerhalb der Lymphscheide gelegen sind, so selten begegnet man ihm oder seinem Endresultate, dem fibrillären Bindegewebe ausserhalb der Lymphscheiden[2]). Die Stellen, an welchen sich im Gewebe ausserhalb der Lymphscheiden fibrilläres Bindegewebe bildet, sind immer zugleich solche, an denen alle oder doch die meisten Blutgefässe, trotz der Anfüllung der sie umgebenden perivasculären Räume mit Zellen, durchgängig geblieben sind. Dass dieser letztere Umstand obgewaltet habe, ist — wenigstens mit grosser Wahrscheinlichkeit — aus dem gleichmässigen, drehrunden Lumen der Blutgefässe und aus ihrer Anfüllung mit wohlerhaltenen, sich von einander einzeln deutlich abtrennenden Blutkörperchen zu erschliessen.

An den meisten Stellen im Tumor ist dieses Bild nicht anzutreffen. Die Blutgefässe sind auf weite Strecken von den sie umschliessenden Zellenmassen comprimirt, eingefaltet, geknickt, kaum oder gar nicht mehr als Röhren zu erkennen und an dicht benachbarten Orten zu grossen aneurysmatischen Säcken ausgeweitet, die mit einer Masse erfüllt sind, welche sich als Resultat eines mehr oder

---

[1]) In einem Aufsatze von Dr. R. Arndt (Virch. Arch. LL, p. 495 ff. „Ein Cancroid der Pia mater"), findet sich ebenfalls eine Angabe über das Entstehen von Bindegewebe aus weissen Blutkörperchen, welche sich in perivasculären Räumen (im Sinne Robin's) angehäuft hatten. Ich kann mich aber auf diese ganze Angabe nicht weiter einlassen und zwar deshalb nicht, weil Arndt's Auffassung selbst der elementarsten, histologischen Begriffe viel zu weit von der unserigen abweicht, als dass jemals eine Verständigung erreicht werden könnte. Ich will daher lieber die betreffende Stelle einfach abdrucken und mich jeder Discussion enthalten. Arndt sagt (l. c. p. 501, f.): „Eine der gewöhnlichsten dieser Ver- „änderungen ist z. B. die Bindegewebsentwickelung...... In solchem Falle wer- „den diese Körperchen (die farblosen Blutkörperchen), nachdem sie sich mit Proto- „plasma umgeben haben, zu Kerneu von Bindegewebszellen, die lang auswachsen „und sich schliesslich zu Bindegewebsfasern umgestalten". Der Aufsatz stammt aus dem Jahre 1870.

[2]) Dieses Verhalten ist gerade entgegengesetzt demjenigen, welches Dr. H. Obersteiner jun. an Gehirnen paralytisch Geisteskranker constatirt hat. Obersteiner beschreibt (Virch. Arch. Bd. LII—p. 510 —) eine Anhäufung von Lymphzellen in den perivasculären Räumen und eine Auswanderung dieser Zellen von da in das umgebende Hirngewebe. Er hat nun beobachtet, dass die bereits ausgewanderten Zellen sich auf eine der oben geschilderten analoge Weise zu sternförmigen Bindegewebskörperchen umwandeln, hingegen sah er die im Lymphraume verbleibenden Zellen niemals eine solche Veränderung eingehen; während in meinem Falle gerade die letzteren es sind, welche vor allen dieser Umwandlung sich unterziehen.

weniger weit gediehenen Zerstörungsprocesses, der sich am Blute abgespielt hat, ausweist. In Gebieten, welche von einem derartig ausser Thätigkeit versetzten Gefässnetze durchzogen sind, trifft man ausserhalb der Lymphscheiden nicht auf fibrilläres Bindegewebe, sondern auf das unter 4. abzuhandelnde Gewebe.

Die Zellen aber, welche sich innerhalb der Lymphscheide befinden, verfallen, wie es scheint, unabhängig von dem Zustande des von ihnen umschlossenen Blutgefässes der Umwandlung zu fibrillärem Bindegewebe. Was aus dem ursprünglichen Hirngewebe, vor allem aus den Ganglienzellen wird, während sich die infiltrirten Zellen zu Bindegewebe umwandeln, das herauszubringen ist mir nicht gelungen. Nur so viel habe ich beobachten können, dass sich die Ganglienzellen sehr lange erhalten und dann etwas anschwellen, und dabei einen stärkeren Glanz annehmen, ein Zustand, der an diesen Gebilden bekannt und unter dem Namen „Sclerose"[1]) beschrieben ist, und von welchem in einem anderen Aufsatze dieses Heftes etwas ausführlicher die Rede ist.

Das Endresultat der Bindegewebsentwicklung um die Gefässe herum ist, je nachdem diese ihr Lumen und ihre Communication mit intacten Gefässen erhalten oder verloren haben, die Herstellung entweder von ungemein dickwandigen Gefässen oder von starken, verzweigten Bindegewebsbalken[2]). Ist das umgebende Hirngewebe, wie oben geschildert, in denselben Process mit einbezogen worden, so ist meistens der äussere Contour der Gefässwand, sowie der des ehemaligen perivasculären Lymphraumes nicht mehr nachzuweisen — die Blutbahnen gleichen Bohrkanälen in einer sehr dichten Bindegewebsmasse.

---

[1]) Meynert, Studien über d. path.-anat. Material der Wiener Irrenanstalt, p. 7, Vierteljahrschr. f. Psychiatrie 1868, III.

[2]) Derartige Verdickungen von Gefässwänden, wenn auch auf andere Weise zu Stande gekommen, sind überhaupt nicht selten im Centralnervensystem. Ein guter Fundort hierfür sind die Gefässe unter dem verdickten granulirten Ependym chronisch hydrocephalischer Ventrikel. Taf. IV Fig. 4 zeigt eine kleine Arterie vom Boden des vierten Ventrikels eines mit chronischem Hydrocephalus verstorbenen Mannes. Das Bindegewebe zeichnet sich durch seine Feinheit, seine parallele Streifung, seine Anordnung in schön geschwungene Bündel aus. In den Lücken befanden sich junge, wahrscheinlich ebenfalls zur Bindegewebsbildung bestimmte Zellen. — Darauf, dass die Bindegewebsneubildung im Gehirne mitunter von der Adventitia der Gefässe ausgeht, macht Meynert (l. c. p. 10) meines Wissens zuerst aufmerksam. Den Ausführungen dieses Autors, welche dahin gehen, einer Verwechslung der Kernwucherung in der Adventitia mit der Ansammlung lymphoider Elemente vorzubeugen (l. c. p. 12), muss ich mich Punkt für Punkt anschliessen.

Ad 4. Ueber die Natur und das Zustandekommen der schollig-körnigen Masse, von der hier die Rede sein soll, lässt sich aus der Betrachtung dieser Masse selbst nichts gewinnen. Ergiebiger ist das Studium von Stellen, an welchen offenbar diese Masse in Entwicklung begriffen ist. An solchen lässt sich zunächst ein Blasser- und Dickerwerden des Protoplasmas der in das Gewebe infiltrirten Zellen nachweisen. Näher gegen die schollige Masse zu gelangen dann hie und da solche grössere Zellen mit je zwei Kernen zur Beobachtung.

Ich bin nicht in der Lage auszuschliessen, dass die Bindegewebskörperchen der Hirnsubstanz sich an diesen Theilungsvorgängen betheiligen, oder dass sich diese vielleicht allein an ihnen abspielen; die letztere Vermuthung hat jedoch nach allem was ich gesehen habe, wenig Verlockendes. Auch ist es mir an diesen Objecten nicht geglückt Bilder zu sehen, welche zur Annahme von Zelltheilungen veranlassen würden. Was sich jedoch mit Bestimmtheit beobachten lässt, das ist, dass die Zellen noch näher gegen den Herd von schollig-körniger Masse zu, ungemein dicht gedrängt liegen, so dass ihre Contouren sich an vielen Stellen kaum mehr, an anderen absolut gar nicht mehr nachweisen lassen. Da, wo die Contouren noch deutlich sind, zeigen sie sich vielfach eingebuchtet, die Zellen auf dem dünnen Durchschnitte sehen aus wie die Steine eines sogenannten Geduldspieles. Noch weiter gegen den Herd zu ist jede Spur von Zellgrenzen verschwunden, die Zellen sind mit einander verschmolzen und bilden eine homogene, nur etwas körnige Masse, in der die Kerne nach und nach anfangen undeutlich zu werden, um schliesslich gänzlich zu verschwinden. Zugleich hat die Masse ihr homogenes Ansehen verloren, dafür tritt der mehrmals erwähnte schollig-körnige Charakter hervor, der sich nun auf weite Strecken hin erhält. Diese Masse durchziehen spärliche Blutgefässe von normalem Bau, oder wie beschrieben, in dicke Bindegewebsröhren eingescheidet und mit denselben verschmolzen (Taf. IV Fig. 3).

Was nun die Geschwulst als Ganzes anlangt, so würde ich nicht anstehen, sie unter die Sarcome zu stellen. Die Bezeichnung: Lymphoma perivasculare konnte ich nur wählen, als mir die ferneren Schicksale der in den ausgedehnten Lymphräumen angehäuften Zellen, in specie ihre Entwicklung zu Bindegewebe noch nicht bekannt war. — Eine Frage, welche man eigentlich bei jeder Geschwulst, die mit der Herstellung von Bindegewebe ihren typischen Abschluss findet, aufwerfen könnte, ist die: ob das Ganze nicht als ein langsam ablaufender Entzündungsprocess aufzufassen sei. Ich habe nicht das mindeste dagegen einzuwenden, wenn es Jemandem beliebt, die Sache

so anzusehen. Die Kriterien einer Entzündung sind nichts weniger als allgemein festgestellt, so sehr auch Hoffnung da ist, dass diese Frage, die sich augenscheinlich zuspitzt, in nächster Zeit eine dauernde Erledigung finden werde; und was nun gar den Begriff „Geschwulst“ anlangt, so ist er schwankender als irgend ein anderer. Sowie Hegel die Ehre als das „schlechthin verletzliche“ definirte, so fühlt man sich versucht die Geschwulst als das „schlechthin strittige“ zu definiren. Unter so bewandten Umständen kenne ich kaum etwas müssigeres, als: eine stricte Entscheidung zwischen Entzündungsproduct und Geschwulst für ein Object, wie das eben besprochene, zu suchen. Unabhängig von der Entscheidung dieser Frage bleiben als Thatsachen stehen: das Fortschreiten des Processes in den perivasculären Lymphbahnen; die Auswanderung der Elemente von da aus in das umgebende Hirngewebe — die zwei verschiedenen Entwicklungsprocesse, die dann an diesen Elementen sich abspielen und die beide — je nach bestimmten Circulations-Verhältnissen — die ausgewanderten Elemente betreffen, während die innerhalb der Lymphscheiden verbleibenden blos dem einen von ihnen anheimfallen.

II.

Zwei Obductionen, die eine am 8., die andere am 25. October 1871 vorgenommen, ergaben so vollständig gleiche Befunde am Gehirne, dass ich im Folgenden von diesen beiden Fällen immer nur wie von einem einzigen sprechen werde. Lage, Form, Grösse, Farbe und der gewebliche Bau bis ins feinste Detail waren beiden gemeinsam. —

Der Sectionsbefund vom 8. October lautet, so weit er uns interessirt:

„Das Schädeldach dünnwandig; etwas vor der Mitte des sagittalen Randes des rechten Os bregmatis an seiner Innenfläche eine erbsengrosse, flach prominirende rauhe Stelle. Die harte Hirnhaut, welche an vielen Stellen dem Schädeldach adhärirt, schwach gespannt. Die inneren Hirnhäute sehr feucht, zwischen den verschmälerten Hirnwindungen zu ödematösen Beuteln gequollen. Die Dura mater unter der rauhen Stelle des Knochens unverändert, hingegen die unter derselben gelegene Partie von Hirnwindungen (die marginalen Antheile der rechten vorderen Centralwindung und der davor gelegenen) in einen derben, flach prominirenden, von den unveränderten inneren Hirnhäuten überzogenen, seicht höckerigen, halbapfelgrossen Tumor von blassrother Farbe umgewandelt, dessen Härte ganz allmälig nach aussen zu abnimmt und ohne deutliche Grenze in die

normale Consistenz der Umgebung übergeht. Die grösste Härte, an der Oberfläche in der Ausdehnung eines Thalers, erstreckt sich einen Zoll weit in die Tiefe. — Sonst das Gehirn blutarm, feuchter, in seinen Höhlen zusammen 3 Drachmen klaren Serums."

Fig. 5 giebt ein Bild von dem Aussehen der erkrankten, von ihren sämmtlichen Häuten entblössten Partie.

Die Aufzeichnung in meinem Protocoll über den genaueren Befund am frischen Präparate lautet:

„Auf dem Durchschnitt Rinde und Mark noch zu unterscheiden. Die härtesten Stellen zeigen unter dem Mikroskop kleine Zellen mit grossen Kernen in einer feinkörnigen, von vielen Fäden durchzogenen Grundsubstanz; ziemlich dünnwandige Gefässe. Je weicher die Stelle, desto weniger und grössere Zellen und desto weniger Fäden. An manchen Punkten gleicht das Bild sehr dem von dicht aneinander gelagerten Spermatozoiden. Viele in Verkalkung oder amyloider Entartung begriffene Gefässe und Sternzellen."

Nach dem bisher Gesagten würden wohl die meisten pathologischen Anatomen die Diagnose „Glioma" stellen, und ich wüsste auch nicht was man unter diese Rubrik einreihen sollte, wenn nicht diese Geschwülste. Ich bin nun aber theils durch die Lectüre der Gliom-Literatur, theils durch eigene Studien auf die Idee gebracht worden, dass die Aufstellung einer Geschwulstgattung unter dem Namen Gliom vielleicht überflüssig, wenn nicht gar unberechtigt sein möchte. Zunächst schien es mir, dass man nicht andere Dinge mit einem Ding vergleichen könne, welches selbst nur so unvollständig gekannt ist, wie die Neuroglia. Es könnte das noch angehen, solange man sich eben darauf beschränken würde, gerade nur die bekannten Merkmale der Neuroglia, also ihr Aussehen nach den verschiedenen Präparationsmethoden als tertium comparationis hinzustellen, und somit alles das Gliom zu nennen, was gerade so aussieht wie Neuroglia unter den gleichen Verhältnissen. Wer aber die Literatur der Gliomes durchgeht, vor allem das dem Gliom gewidmete Kapitel in Virchow's grossem Werke, der wird bald finden, dass da Geschwülste als Gliome dargestellt sind, die in keiner Beziehung direct mit einer der verschiedenen Formen der Neuroglia vergleichbar sind, und die, hätten sie sich irgendwo anders als im Hirn oder in der Retina gefunden, ganz gewiss unter die Sarcome oder Myxome eingereiht worden wären. Nachdem ich so an der Berechtigung der „Gliome" als einer eigenen Gattung zweifelnd geworden war, unterliess ich einstweilen eine Einreihung der mich beschäftigenden Tumoren unter dieses Fach, und beschränke mich

lieber auf eine genaue Untersuchung meiner Objecte, deren Resultat ich hier wiedergeben will.

Schnitte aus dem gehärteten Tumor, und zwar von der Grenze der Geschwulst gegen anscheinend gesundes Gewebe zeigen dem ersten Anblick eine auffallend grosse Menge von Ganglienzellen. Bei genauerer Betrachtung ergiebt es sich, dass in so auffallender Weise nicht die Zahl, sondern vielmehr die Grösse der Zellen, und zwar insbesondere derjenigen kleinen pyramidenförmigen Zellen zugenommen hat, welche in der Hirnrinde sowohl eine eigene Schichte bilden als auch zwischen die grösseren Zellen der übrigen Schichten eingeschaltet sind.

Die Zellen haben fast alle die Grösse der grössten Pyramiden angenommen, die man überhaupt in der Hirnrinde findet, und dieselbe in einzelnen Exemplaren um ein beträchtliches übertroffen. Dadurch hat das mikroskopische Bild der Hirnrinde ein gleichmässigeres Ansehen gewonnen, obwohl sich nicht verkennen lässt, dass dieser Vorgang des Heranwachsens der kleinen Zellen bis zum Umfange der grossen von gewissen Herden ausgeht. Diese Herde zeichnen sich auch noch dadurch vor ihrer Umgebung aus, dass die Anfüllung der Gefässe mit Blut, welche am ganzen Umfange der Geschwulst eine bedeutende ist, eben in ihnen den höchsten Grad erreicht. Die Gefässe sind aufs äusserste ausgedehnt, nehmen einen erheblichen Theil des disponiblen Raumes für sich in Anspruch; ihre Contouren sind zart, durch zahlreiche Varicositäten ausgebuchtet, die perivasculären Räume sind grösstentheils verschwunden, während die von H. Obersteiner beschriebenen pericellulären Räume erhalten sind. Eine dichtere Ansammmlung von zelligen Gebilden irgend welcher Art in nächster Umgebung der Gefässe, welche den Schluss auf Auswanderung farbloser Blutzellen aus ihnen gestatten würde, ist in diesen Partien noch nicht zu beobachten. Das Mark unter derartig veränderten Rindenpartien ist auch nicht mehr normal. Zunächst nehmen die Gefässe des Markes Theil an den Veränderungen, welche soeben von den Rindengefässen angeführt wurden, und dann ist eine Umgestaltung der kleinen zelligen Gebilde des Hirnmarkes zu deutlichen, ein feinkörniges Protoplasma, einen mittelgrossen Kern und mehrere Fortsätze zeigenden Zellen etwa von der anderthalbfachen Grösse farbloser Blutzellen nachzuweisen. Ganz gleiche Gebilde finden sich auch in der Rinde zwischen den Pyramiden. Sie zeigen häufig mehr als einen Kern, mitunter liegen mehrere einkörnige Zellen dicht beisammen in einer Gruppe. Es ist gerechtfertigt, sie für die als Gliakerne beschriebenen Gebilde

und die an ihnen beobachteten Veränderungen als Ausdruck von Wachsthums- und Theilungsvorgängen anzusehen.

Eines Befundes will ich gleich hier gedenken, obgleich er der eben abgehandelten Grenzregion der Tumoren nicht ausschliesslich zukommt, sondern an vielen anderen, der Oberfläche nahe gelegenen Stellen derselben ebenfalls anzutreffen ist. Ich meine gewisse kleine, bald kugelige, bald Cylindern, welche an beiden Endflächen durch Halbkugeln abgeschlossen sind, gleichende, glattwandige, mit Serum erfülle, mikroskopische oder in allen Grössen bis zu der eines Hirsekornes schwankende Hohlräume in der Substanz des Tumors, und zwar in seiner Rindenpartie.

Taf. IV Fig. 6 stellt einen Durchschnitt bei Loupenvergrösserung dar, welcher in einer auf der Oberfläche senkrechten Ebene geführt wurde. Nur in solchen Schnitten bekommt man die cylindrischen Hohlräume im ganzen Aufriss. Auch die kugeligen Hohlräume, mitunter nur durch sehr zarte Scheidewände von einander getrennt, stehen in Reihen, welche ihrerseits wieder senkrecht auf die Hirnoberfläche stehen. Dieser Umstand allein genügte, irgend eine Beziehung dieser Hohlräume zu den Gefässen der Hirnrinde nahe zu legen.

Die Untersuchung aber der kleinsten Hohlräume erhob diese Vermuthung zur Gewissheit; durch solche sieht man nämlich je ein Blutgefäss, mehr oder weniger verändert, aber immer noch deutlich als solches erkennbar frei hindurchziehen, oder mit einem stumpfartigen Rudimente in sie hineinragen. Die äussere Begrenzung eines an einem solchen Blutgefässe vor dessen Eintritt in den Hohlraum etwa noch nachweisbaren perivasculären Lymphraumes geht dann ununterbrochen in die Wand des Hohlraumes über, der Hohlraum selbst communicirt frei mit dem das Gefäss einscheidenden Lymphraume, und es ergibt sich die Ansicht ganz von selbst, dass die Hohlräume eben als Resultate einer krankhaften Erweiterung perivasculärer Lymphräume zu deuten seien. Auch die übrigen Umstände unterstützen diese Ansicht. Wie schon bemerkt sind die Blutgefässe an manchen Stellen so sehr ausgedehnt, dass die sie einscheidenden Lymphräume aufhören als solche erkennbar zu sein. Hierzu kommen Vorgänge im umgebenden Gewebe, die jedenfalls geeignet sind, eine vorhandene Raumbedrängniss zu vermehren; einige dieser Vorgänge haben wir im Heranwachsen der Ganglienzellen, sowie der Gliakörper, und in Vermehrung der letzteren durch Theilung kennen gelernt, von anderen wird im Folgenden noch die Rede sein.

Alles das zusammen macht es begreiflich, dass bestimmte — ringförmige — Querschnitte der perivasculären Lymphbahn für den Flüssigkeitsstrom nicht mehr praktikabel, so gut wie unterbunden werden, während zwischen zwei derartigen Stellen die Exsudation von Plasma aus den Blutgefässen ein normales Mass beibehalten, oder wie die unmässige Ausdehnung der letzteren zu schliessen erlaubt, sogar überschritten haben kann. Ein solcher Abschnitt der Lymphbahn befindet sich nun unter ganz denselben Bedingungen wie ein an zwei Stellen impermeabel gewordenes Harnkanälchen in einer erkrankten Niere, und reagirt auch ebenso auf dieselben — es wird ausgedehnt. Nur gestaltet sich das mit einer eigenen Wand ausgestattete Harnkanälchen zur echten Cyste um, während der einer solchen Wand ermangelnde Lymphraum einstweilen zum wandungslosen Hohlraum wird[1]). Dafür dass das Blutgefäss in solchen Hohlräumen nicht immer nachzuweisen ist, mag die Möglichkeit, dass das Gefäss eben nicht in den Schnitt fiel, oder dass es bereits auf die eine oder die andere Weise zu Grunde gegangen ist, als Erklärung dienen, nebst der Bemerkung, dass ja die Existenz von Lymphbahnen im Gehirne, welche nicht an Blutbahnen gebunden sind, noch nicht ausgeschlossen ist, und dass ein Process ähnlich dem, welcher soeben für die perivasculären Lymphgefässe angenommen wurde, sich auch an den anderen abspielen kann. Ich weise nur auf die von Obersteiner beschriebenen pericellulären Räume und auf die von demselben abgebildeten kurzen Verbindungsbahnen dieser mit den perivasculären hin.

In dem wandungslosen Zustande, in welchem sie sich bei und kurz nach ihrem Entstehen befinden, verbleiben aber nicht alle so gebildeten Hohlräume für immer, sondern nur diejenigen, welche innerhalb einer Umgebung entstehen, in der keine rapide Zellenbildung stattfindet. Grosse Exemplare hatten allerdings die Grösse eines Stecknadelkopfes übertroffen und es hörte einfach die Gehirntextur an ihnen mit einem scharfen Rande auf, an den höchstens hie und da eine lange Spindelzelle sich angeschmiegt hatte, deren Kern als flacher Bauch in das Lumen vorsprang. Andere hingegen, und zwar gerade diejenigen, in deren Umgebung sich eben der geschilderte Process der Gliakörperchenvermehrung mit Energie abspielte, hatten von dem hiedurch geschaffenen Zellenmaterial etwas für sich zur Bildung einer Bindegewebswand in Anspruch genommen.

[1]) Von einem Ueberzuge der äusseren Wand der perivasculären Räume mit einem Endothelium kann man für diesen Fall absehen, so wahrscheinlich es auch sein mag, dass ein derartiger Ueberzug wirklich vorhanden ist.

Man sieht die jungen Zellen sich je näher sie dem Hohlraume kommen, um so mehr abplatten und zu Spindeln ausziehen, bis sie zuletzt eben eine aus vollkommen parallel angeordneten, sehr feinen Fasern gebildete, zarte Bindegewebswand um den Hohlraum herum herstellen, in welcher zahlreiche oblonge Bindegewebskörperchen vorkommen. Ganz ähnlich sind complete oder rudimentäre sehr dünne Scheidewände gebaut, welche einzelne Hohlräume, die offenbar aus aufeinander folgenden Abschnitten eines und desselben Lymphraumes entstanden sind, von einander trennen. Der Inhalt dieser Hohlräume ist entweder (bei den grösseren fast durchgehends) ein ganz klarer oder ein, wahrscheinlich durch Coagulation entstandener, feinkörniger oder fädiger. An anderen Orten, an denen überhaupt Auswanderung von Zellen aus den Gefässen stattgefunden hat, sieht man sehr grosse, kernhaltige, protoplasmatische, meistens polygonale Körper von mitunter bedeutendem Glanze in den Hohlräumen. Gewöhnliche Lymphkörperchen kommen nur vereinzelt in ihnen zur Ansicht.

Wie eben angedeutet ist es an manchen Stellen des Tumors zur Exsudation zelliger Elemente gekommen. Man findet daselbst die Blutgefässe von einer meist nur einfachen Schichte jener grossen eben beschriebenen Zellen umgeben, von denen ich aber nicht im Stande bin auszusagen ob sie sich von hier aus in das umgebende Gewebe weiter verbreiten, oder nicht. Die Schwierigkeit, die der Entscheidung dieser Frage entgegentritt, liegt in der grossen Aehnlichkeit der perivasculären Zellen mit anderen zelligen Gebilden, die sicher in der Substanz selbst entstehen. Ein anderer hier anzuführender Befund ist folgender. An manchen Stellen des Tumors findet man, ohne dass das Geschwulstgewebe sonst im mindesten alterirt wäre, dasselbe infiltrirt mit rothen Blutkörperchen. Dieselben haben ihre charakteristische Farbe mitunter eingebüsst, liegen stellenweise so dicht, dass sie sich aneinander abplatten, bilden keine grösseren Herde und durchsetzen das Gewebe, und erfüllen alle Lücken desselben auf weite Strecken, ohne dass, wie ich nochmals hervorheben will, weder innerhalb dieser Strecken, noch an ihrer Peripherie, wo die Dichtigkeit, mit der die rothen Blutzellen aneinander liegen ganz allmälig abnimmt, irgend etwas von Zertrümmerung oder auch nur Compression des Gewebes zu sehen wäre. Diese Blutkörperchen sind bestimmt nicht durch eine Apoplexie, sondern in Folge von Diapedese auf dem Wege einer sehr allmäligen Infiltration in das Gewebe gelangt und haben sich in demselben, ohne dass eine sichtbare Reaction von ihrer Seite oder von der Seite des Gewebes eingetreten wäre, erhalten.

Ich komme nun zur Schilderung derjenigen Verhältnisse, wegen welcher ich die Anatomie dieser Tumoren überhaupt der Veröffentlichung werth gehalten habe.

Unmittelbar auf die äusserste, im vorhergehenden beschriebene Grenzschichte des Tumors folgt nach innen zu in den der Hirnrinde entsprechenden, oberflächlich gelegenen Antheilen desselben eine Schichte, in welcher sich, von den Ganglienzellen abgesehen, alles ziemlich ebenso verhält, wie in der Grenzschichte. Die Ganglienzellen bieten aber einen sehr merkwürdigen Anblick dar. Bei schwacher Vergrösserung sehen ihrer viele so aus, als wäre eine feinste schwarze Linie an ihrer Oberfläche gezogen oder als befände sich ein sehr weitmaschiges Netz solcher Linien an derselben. Bei stärkerer Vergrösserung kommen dieselben Linien als Ausdruck von Furchen an der Oberfläche zum Vorschein, welche sich mitunter tief in die Substanz der Zellen gleich einem Sprung in einem dicken Glase fortsetzen (Taf. IV Fig. 7).

Der häufigste Fall ist wohl der, dass eine einzige solche Trennungsfläche eine Zelle durchzieht, doch kommen Bilder von Zellen, die durch mehrere Trennungsflächen getheilt sind, ebenfalls sehr oft zur Ansicht. Die Fläche durchzieht die Zelle entweder der Länge nach (in der Richtung vom Spitzenfortsatz zum mittleren Basalfortsatz) und wird dann meist in der Gegend des ersteren undeutlich, oder sie durchzieht die Zelle der Quere nach und zertheilt sie in ein unteres, Trapez-förmig erscheinendes Stück, von welchem die Basalfortsätze ausgehen, und in ein oberes dreieckig aussehendes, welches sich in den Spitzenfortsatz auszieht (Fig. 7). Zwei- und mehrkernige Zellen[1]) kommen mit diesen untermischt vor, und von den Theilungsstücken einer Zelle trägt jedes gewöhnlich eines der Kerntheilungsproducte. Diese letzteren sind einander nicht ganz gleich; eines hat meistens den Charakter des Ganglienzellenkernes in hervorragender Weise beibehalten; dasselbe liegt bald im Spitzenantheil der getheilten Zelle, bald in irgend einem anderen, weder

---

1) Eine ausführliche, durch Abbildungen ergänzte Schilderung des Vorganges der „einfachen und mehrmaligen Kerntheilung“ in Ganglienzellen gibt Meynert in seinem Aufsatze: Studien über das path.-anat. Material der Wiener Irren-Anstalt (Vierteljschr. f. Psychiatrie 1868 III.). Ich citire aus dieser Abhandlung noch als hierhergehörige Literatur: Tigges, allg. Zeitschr. f. Psychiatrie 20 Bd. — Meynert, medic. Jahrb. Wien 1866. — Hoffmann in Meeren-Berg eenige pathologisch-anatomische Waarnemingen etc. (Nederlandsch Tijdtschrift voor Geneeskunde 1868). — Eine Ganglienzellentheilung ist so viel ich weiss, bisher noch nicht beobachtet worden.

durch Grösse, noch durch sonst irgend etwas ausgezeichneten Antheile derselben (Taf. IV Fig. 7 und 8).

Der nächste Schritt, der sich beobachten lässt, ist ein Auseinanderrücken der Theilungsproducte — so weit, dass die Trennungsfläche auf dem optischen Querschnitt nicht mehr wie eine schwarze Linie, sondern wie eine an jeder Seite von einem Contour begrenzte Strasse von messbarer Breite aussieht (Taf. IV Fig. 8—11). Der Contour der Gesammtzelle ist an den Einpflanzungsstellen der Trennungsflächen einfach unterbrochen, und das Ganze hat die Gestalt einer pyramidenförmigen Ganglienzelle. An solchen Zellen kann man gelegentlich mit einer Deutlichkeit, die nichts zu wünschen übrig lässt, beobachten, dass sich die Trennung in den Spitzenfortsatz eine gute Strecke weit fortsetzt, hinter welcher dann derselbe ungetheilt und von einem normalen in nichts mehr sich untrscheidend, weiterläuft (Taf. IV Fig. 9—10).

Auch in anderen Fortsätzen sieht man, wenn auch seltener, ein gleiches Verhalten; doch gilt für diese, so viel sich das an Querschnitten erkennen lässt, im allgemeinen das Gesetz, dass je einem Zelltheile ein Fortsatz zukommt. Manche Zelltheile enthalten mehr als einen Kern, und man kann in diesen, sowie früher in den ungetheilten Zellen den Hergang der Kerntheilung von Stufe zu Stufe an verschiedenen Exemplaren studieren (Taf. IV Fig. 10).

Uebrigens kommen alle erdenklichen Variationen in Zahl und Anordnung der Zelltheile, der Kerne, in Vertheilung der Fortsätze an die Zellfragmente u. s. w. gelegentlich zur Beobachtung. Taf. IV Fig. 11 zeigt z. B. eine der Quere nach getheilte Zelle; der eine Seitenfortsatz ist von der Theilung mitgetroffen und zerfällt in einen stärkeren und einen schwächeren Antheil. Der letztere gehört nun mehr der Spitzenhälfte an, welche ausser ihm noch drei Fortsätze trägt, unter diesen den eigentlichen Spitzenfortsatz. Diese selbe Hälfte ist kernlos, während die Basalhälfte, von welcher der stärkere Antheil des getheilten Seitenfortsatzes entspringt, ausser diesem noch einen, wahrscheinlich den mittleren Basalfortsatz trägt, und zwei dicht beisammen liegende nahezu gleich grosse, je ein Kernkörperchen führende Kerne, die offenbar aus der Theilung des ursprünglichen Zellkernes entstanden sind, birgt.

Die Frage, ob diese von mir bisher so genannten Zelltheile wirklich Theile einer Ganglienzelle sind, darf ich als erledigt betrachten. Soll ich einzelne Gründe für die Berechtigung dieser Anschauung beibringen, so sind es folgende:

1. Es finden sich Ganglienzellen mit zwei Kernen. In der gesunden Hirnrinde kommen solche Zellen nie vor. Will man sich

nicht zur Annahme einer freien Kernbildung im Zellleib entschliessen, so muss man zugeben, dass man es hier mit Kerntheilung zu thun hat — dem bekannten Vorläufer der Zelltheilung.

2. Die einzelnen Theile sind mitunter noch nicht ganz von einander getrennt, sondern nur durch tiefe, spaltartig sich ins Innere fotsetzende Furchen zur Trennung vorbereitet.

3. Die aneinanderliegenden Theile können nicht Leiber von anderartigen, dicht an die Ganglienzelle gedrängten Zellen sein, denn ihr Protoplasma gleicht dem Ganglienzellenprotoplasma, sie tragen unverkennbare Ganglienzellenfortsätze und unterscheiden sich immer scharf und deutlich von den allerdings mitunter in derselben Lücke mit der Ganglienzelle oder ihren Theilungsproducten vorkommenden anderartigen Zellen, von denen im weiteren noch die Rede sein wird.

4. Die aneinanderliegenden Theile können auch nicht dicht zusammengepresste Leiber verschiedener Ganglienzellen sein, zum Theil aus einigen der früher angeführten Gründe, dann aber auch, weil zwei oder mehr Ganglienzellen weder von vornherein in derselben Lücke der Hirnrindensubstanz liegen, noch auch durch den früher besprochenen Wachsthumsprocess der Ganglienzellen in dieselbe Lücke zu liegen kommen kämen, indem trotz dieses Wachsthums die Abstände der einzelnen Lücken von einander gemessene bleiben, und schliesslich, weil man die Fortsätze zweier Theile im weiteren Verlaufe zu einem einzigen Fortsatze verschmelzen sieht.

In derselben Region mit den eben geschilderten Elementen zusammen, kommen noch andere ebenfalls von Ganglienzellen abzuleitende Gebilde vor. Ich meine Körper von beträchtlicher Grösse, bis zu $^1/_7$ Millimeter Länge, stark glänzend, fast homogen oder doch nur unbedeutend gekörnt, in Carmin bald eine tiefe Färbung annehmend, an ihren Contouren bestimmt an Ganglienzellen erinnernd, einen mehr oder weniger deutlichen, häufig bläschenartigen Kern enthaltend und immer viele Fortsätze aussendend, von denen sich der eine durch seine Dicke, seinen Glanz und seine dunklere Tinction vor den übrigen auszeichnet. Alle Uebergänge von solchen kolossalen bis zu den gewöhnlichen Ganglienzellen lassen sich nachweisen, und es unterliegt keinem Zweifel, dass man es hier mit aufgeblähten Ganglienzellen zu thun hat, denjenigen Gebilden, welche als sclerosirte Nervenkörper bekannt sind[1]).

Ich kann aus eigener Beobachtung den bekannten Beschreibungen dieser Zellen nichts Neues von Belang hinzufügen, und will mich

---

[1]) s. Meynert l. c.

also begnügen, anzumerken, dass Theilungsvorgänge an ihnen gewiss nur sehr ausnahmsweise sich abspielen, ja dass höchst wahrscheinlich die Bilder, welche auf beginnende Theilung an sclerosirten Zellen hinzuweisen scheinen, so zu deuten sind, dass Zellen, welche eben in die Anfangsstadien der Theilung getreten waren, in diesem Zustande von der Sclerose befallen und in ihrer weiteren Entwicklung aufgehalten wurden. Im übrigen kann ich der Schildernng der früheren Beobachter nur beipflichten und u. A. bestätigen, dass auch die Fortsätze an der Volumszunahme und an den übrigen Veränderungen sich betheiligen. Hiedurch werden viele Fortsätze, welche sonst ihrer geringen Stärke und ihrer Glanzlosigkeit wegen der Wahrnehmung entgingen, erst sichtbar, und es kann der Anschein entstehen, als hätten die Zellen durch die Sclerosirung einen Zuwachs an Fortsätzen erhalten[1]).

Rückt man nun mit der Untersuchung gegen das Centrum der Geschwulst vor, so verliert das Gesammtbild viel von seiner typischen Regelmässigkeit — hauptsächlich desshalb, weil nun sehr verschiedenartige Factoren an seiner Herstellung theilnehmen und das locale Vorwiegen des einen oder des anderen Factors den anatomischen Charakter sehr wesentlich bestimmt. Zunächst finden wir die Substanz des Tumors an vielen Stellen in geringerer oder grösserer Dichtigkeit durchsetzt, an anderen überschwemmt von zelligen Elementen, über deren Herkunft sich schwer etwas anderes mit Bestimmtheit aussagen lässt, als dass sie nicht von nervösen Elementen abstammen. Es sind Zellen von rundlicher oder polygonaler Gestalt, kernhaltig, hier und da dünne, fadenartige, kurze Fortsätze zeigend, welche an allen Orten des Gewebes sich vorfinden; in der Neuroglia, in den perivasculären und in den pericellulären Lücken. Von einigen, z. B. den in perivasculären Räumen liegenden, giebt allerdings ihr Standort Aufschluss über ihre Natur, von anderen aber, z. B. den in der Neuroglia liegenden, lässt sich weder ausschliessen, dass sie von „Gliakernen“ oder deren Theilungsproducten abstammen, noch dass sie aus den perivasculären Räumen ins Gewebe eingewanderte Lymphzellen, noch endlich, dass sie Lymphzellen seien, welche in selbstständigen — nicht an Blutgefässe gebundenen — Lymphcapillaren der Gehirnsubstanz liegen und daselbst gewisse Veränderungen durchgemacht haben. — Da, wo solche Zellen in einer und derselben Gewebslücke mit einer Ganglienzelle oder ihren Theilungsproducten

---

[1]) Fig. 4 Taf. V. stellt eine sclerosirte, in Wirklichkeit $^1/_7$ Mm. messende Ganglienzelle aus diesem Tumor dar.

liegen, unterscheiden sie sich meist deutlich von letzteren durch die bekannten Merkmale. Hier und da sieht man auch eine derartige Zelle zwischen zwei Stücken einer Ganglienzelle eingezwängt, ein Umstand, auf welchen ich mich später berufen werde.

An vielen Stellen der Geschwulst sind die Gefässe allseitig von solchen Zellen umgeben, an anderen frei von ihnen und gerade diese letzteren Stellen sind es, an welchen die Gefässe gelegentlich durch enormen Blutgehalt so ausgedehnt sind, dass sie buchstäblich den grössten Theil des Raumes für sich in Anspruch nehmen und das gesammte übrige Gehirn- oder Geschwulstmaterial wie eine Zwischensubstanz zwischen den Gefässen eines Angiomes aussieht. Die Ueberschwemmung des Gewebes mit solchen „lymphoiden“ Zellen ist zugleich der einzige Repräsentant, welcher die in der Hirnrinde sich abspielenden Vorgänge in dem darunter liegenden Marke vertritt.

An solchen Punkten der Hirnrinde, an welchen die Textur nicht durch die „lymphoiden“ Zellen ganz verdeckt ist, lassen sich nur noch folgende Beobachtungen über das fernere Schicksal der Ganglienzellen anstellen.

Näher am Centrum als jene Partien gelegen waren, in welchen kaum eine einzige Zelle von Zertheilung oder Sclerosirung verschont geblieben ist, liegen Strecken, innerhalb deren man wieder auf scheinbar normale Ganglienzellen stösst. Sie unterscheiden sich von den gewöhnlichen Hirnrindenzellen nur in folgenden Punkten: Ihre Gestalt ist viel weniger ausgeprägt die einer Pyramide, es finden sich vielmehr abgerundete, polygonale, spindel-, sichelförmige Zellen in erklecklicher Anzahl, die nichtsdestoweniger sich schon dem ersten Anblicke durch die Beschaffenheit ihres Protoplasmas, Kernes, Kernkörperchens und ihrer Fortsätze als Ganglienzellen zu erkennen geben. Zweitens stehen aber diese Zellen in Gruppen von je zweien bis fünfen dicht beisammen, während die einzelnen Gruppen von einander durch bedeutend breitere Zwischenräume getrennt sind[1]). Ich kann den Gedanken, dass man es hier mit den auseinander gerückten Theilungsproducten der äusseren Schichten zu thun habe, nicht ganz abweisen, ob ich zwar weder im Stande bin, diese Anschauung zu beweisen, noch auch anzugeben vermag, auf welche Weise die neue Anordnung, die Zwischensubstanz u. s. w. entstanden sind. Nur so viel möchte ich erinnern, dass der Befund von Lymphkörperchen-ähnlichen Zellen zwischen den Theilungsproducten der

---

[1]) Fig. 2 Taf. V.

Ganglienzellen sich hier hypothetisch für die Erklärung des Zustandekommens einer Zwischensubstanz verwerthen lässt. —

Genauere Angaben, als ich über die Natur und die Entstehung der Zellen dieser Schichte machen konnte, stehen mir bezüglich der ferneren Schicksale dieser Zellen zu Gebote. Es unterliegt nämlich gar keinem Zweifel, dass sie sich abermals theilen. In unmittelbar benachbarten, ziemlich grossen Gebieten findet man nämlich Bilder wie Taf. V Fig. 1 eines darstellt. Abermals hat hier eines der Theilungsproducte den Charakter einer Ganglienzelle in höherem Masse bewahrt als die übrigen. Da diese übrigen sich in ihrem Aussehen vom Aussehen normaler Ganglienzellen schon beträchtlich entfernt haben, kann ich auch nicht mit Bestimmtheit von jedem einzelnen behaupten, dass es von nervöser Abstammung sei, und nicht etwa ein hergeschwommenes Lymphkörperchen oder Theilungsproduct eines nahe an der Gewebslücke gelegenen „Gliakernes"; aber das kann mit Bestimmtheit behauptet werden, dass der allergrösste Theil dieser kleinen Zellen durch Theilung von Ganglienzellen entstanden ist. Die Gesammtform eines solchen Zellenhaufens ist — entsprechend der Gestalt der Mutterzelle — in vielen Fällen die einer Pyramide.

Noch näher dem Centrum der Geschwulst und im Centrum selbst besteht dieselbe aus einem ganz gleichartigen Geflechte kurzer Zellfortsätze, welche zu je dreien oder mehreren an kernhaltigen Zellen etwa von der Grösse farbloser Blutkörperchen sitzen.[1]) Diese Zellen gleichen — bis auf die Fortsätze — sehr den zuletzt geschilderten Theilungsproducten der Ganglienzellen zweiter Ordnung. Die dem Marke entsprechenden Antheile des Tumors sehen gegen die Mitte zu genau so aus, wie die oberflächlich gelegenen — der Unterschied zwischen Rinde und Mark, der sich tief in die Geschwulst hinein verfolgen liess, ist hier, nachdem sich die Trennungslinie, immer undeutlicher werdend allmälig — der Volumszunahme der Rinde entsprechend — gesenkt hatte, völlig verschwunden — für das freie Auge sowie für das Mikroskop.

Da die Entwicklung der Geschwulst mit der Herstellung eines Gewebes abschliesst, welches dem Bindegewebe in einem bestimmten Entwicklungsstadium gleicht, so möchte ich diese Geschwulst — in beiden Exemplaren — unter die Sarcome stellen. Als neu wäre besonders die Entwicklung von Sarcom-Masse aus nervösen Elementen und der Modus dieser Entwicklung durch Theilung von Ganglienzellen hervorzuheben.

---

[1]) Fig. 3 Taf. V.

B. Ueber den Tumor cavernosus.

Bekanntlich existiren zwei wesentlich von einander abweichende Ansichten über die Entstehungsgeschichte des Tumor cavernosus. Die eine, von Rokitansky vertreten, sieht den Tumor cavernosus für die Neubildung eines Bindegewebsgerüstes an, welches mit seinen Räumen nachträglich in Communication mit Venen tritt und sich von da aus mit Blut füllt. Die zweite Ansicht, von Virchow vertreten und jetzt ziemlich allgemein angenommen, lässt den Tumor cavernosus aus der Erweiterung ursprünglich vorhandener Gefässe sich bilden und hält somit die Communication seiner Räume mit dem Lumen des Kreislaufes für eine von vornherein bestehende. Was von beiden Seiten zur Begründung dieser Ansichten vorgebracht wurde, besteht in je einer Reihe von Argumenten, unter welchen sich meiner Meinung nach, kein einziges absolut beweisendes befindet. Auch ich bin nach sorgfältiger Untersuchung ziemlich vieler Exemplare des fraglichen Gebildes nicht im Stande, ein solches, die Sache ein für allemal jedem Zweifel entrückendes Argument beizubringen; ich glaube jedoch, dass nach eingehender Prüfung der von beiden Seiten geltend gemachten Gründe und unter Berücksichtigung einiger neuer Beobachtungen, die eine Wagschale wesentlich tiefer zu stehen kommt, als die andere.

1. Das Epithelium.

Die Bindgewebsbalken und Platten, welche das Gerüste der cavernösen Blutgeschwulst zusammensetzen, sind — wie bekannt — mit einem einschichtigen Epithelium überzogen, welches aus sehr langen, den glatten Muskelfasern an Gestalt nicht unähnlichen, stark glänzenden, homogenen Zellen mit je einem langen, schmalen, stäbchenförmigen Kerne besteht. Diese Zellen sind parallel aneinandergelagert und liegen auf den Balken entweder mit ihrer eigenen Längsachse der des Balkens gleichgerichtet oder sie umgeben den Balken in Zirkeltouren. Diese Epithelialzellen lassen sich, wie Virchow (Geschw. III. Bd. p. 314), angiebt „sehr leicht, zumal bei leicht fauligen Zuständen des Präparates ablösen". Es ist gewiss richtig, dass bei beginnender Fäulniss die Zellen sich noch leichter ablösen; ich muss aber ausdrücklich bemerken, dass auch an den frischesten Präparaten diese Ablösung ganz leicht vor sich geht, und dass gerade an diesen das Epithelium sich in besonders grossen, zusammenhängenden Platten und Fetzen darstellt. Es unterscheidet sich vom Epithelium der Venen schon durch diesen letzten Umstand, hat aber auch sonst nichts an sich, was zu einer Verwechslung mit Venenepithelium

Anlass geben könnte[1]), und kommt überhaupt mit keinem — mir bekannten — physiologischen Epithelium am menschlichen Körper überein.

Wenn nun auch zugestanden werden muss, dass bei so bedeutender Ausdehnung, wie die Blutgefässe erfahren müssten, wenn aus ihnen die Räume gewisser Tumores cavernosi hergestellt werden sollten, möglicherweise am Epithelium Veränderungen vorgehen könnten, welche den ursprünglichen Charakter desselben vollständig aufheben, so lässt sich doch dagegen behaupten, dass nicht nur ein analoger Vorgang nicht bekannt ist, und nichts zur Aufstellung dieser Hypothese berechtigt, sondern dass wir sogar wissen, dass, wenn Hohlgebilde, welche mit einem Epithelium ausgekleidet sind, einer pathologischen Ausdehnung anheimfallen; dass dann die Epithelialzellen im allgemeinen flacher werden, den Charakter der echten Epithelialzellen verlieren und dafür den der sogenannten serösen, zu welchen ja auch die Gefässepithelialzellen gehören, annehmen. Ferner lassen sich nicht etwa, wie man das nach der oben angeführten Hypothese erwarten sollte, an ganz jungen, kleinen Exemplaren des cavernösen Tumors Uebergangsformen zwischen den, diesem Tumor eigenthümlichen Epithelialzellen und denen der Gefässe finden, sondern die Wände und Balken selbst der kleinsten, noch nicht deutlich abgekapselten und, wie der Zustand des umliegenden Bindegewebes ausweist, jüngsten Tumores cavernosi sind mit dem oben geschilderten Spindelzellenepithelium überzogen, geben also, von diesem Standpunkte aus, keinen Anlass, sie von gewöhnlichen Blut-

---

[1]) Billroth (allg. chir. Path. u. Ther. 1866 p. 662) zieht aus der im Texte erläuterten Prämisse, dem Aussehen des Epitheliums einen entgegengesetzten Schluss; er findet „die Innenwand der mit Blut erfüllten Räume in den meisten Fällen mit spindelförmigen Zellen (mit Venenendothel) belegt, so dass auch schon diese anatomischen Verhältnisse dafür sprechen, dass man es vorzüglich mit ausgedehnten Venen zu thun hat.“ Vergl. übrigens die nach sorgfältiger Untersuchung entworfene, ausführliche Schilderung der Gefässepithelien von Soboroff (Virch. Arch. LIV. pag. 137—167). Derselbe sagt pag. 154 ausdrücklich, dass er unter den polygonalen Zellen, aus welchen das Venenepithelium besteht, auch nicht eine spindelförmige angetroffen habe. Legros (Note sur l'épith. etc. Journal de l'anat. et de la phys. 1868 p. 267 etc.), — Eberth in Stricker's Handbuch d. Histologie, Chrzonszczewsky und viele Andere stimmen mehr oder weniger darin überein, dass den Zellen des Venenepitheliums die Spindelform nicht zukomme. Jedenfalls sind die Epithelialzellen der Gefässe viel glattere Gebilde als die des Tumor cavernosus, und in den meisten Stücken den Epithelien der serösen Häute äusserst ähnlich.

gefässen abzuleiten; sie drängen im Gegentheile dahin, das ganze Gebilde oder mindestens seinen Epithelialüberzug für eine selbstständige Neubildung anzusehen.

2. Nicht mit Blut erfüllte Tumores cavernosi.

Das Vorkommen von noch nicht mit Blut erfüllten cavernösen Geschwülsten wird von Rokitansky (Lehrb. d. path. Anat. 3. Aufl. pag. 206) behauptet, und ich habe ebenfalls vor mehreren Jahren in einer Leber, welche mehrere bluterfüllte Tumores cavernosi enthielt, an der Oberfläche 8—10 bis hanfkorngrosse, weissliche, derbe, fibröse Tumoren gesehen, dieselben aber damals leider nicht näher untersucht. Das Ergebniss einer solchen Untersuchung würde aber, wenn es selbst im Nachweise eines fibrösen Gewebes bestünde, welches hie und da spaltförmige Lücken zwischen sich fasst, kaum eine Entscheidung in unserer Frage bringen.

Warum sollten nicht Fibrome der Leber selbstständig oder zugleich mit cavernösen Tumoren vorkommen? Nun hat sich mir aber ganz unerwartet ein hierher gehörendes Argument aus der Untersuchung einer kleinen (etwa wallnussgrossen) Brustdrüse eines erwachsenen Mannes ergeben. Dieselbe bot auf dem frischen Durchschnitte eine ebenso homogene Fläche wie eine jungfräuliche Brust. Die mikroskopische Untersuchung zeigte an den meisten Stellen einen Bau, welcher mit dem einer nicht lactirenden weiblichen Brust übereinstimmte; an anderen erinnerte das Bild mehr an das eines Cystosarcomes mit sehr mässigem und langsamem Wachsthum der sarcomatösen Bestandtheile. Die Epithelialzellen glichen an Gestalt und Grösse ganz denen einer weiblichen Brust.

An der Peripherie des ganzen lag, in dichteres Bindegewebe eingekapselt, ein etwas über hanfkorngrosses Klümpchen, dessen Bau von dem der übrigen Drüse sehr abwich. Es waren wohl auch von Bindegewebe eingeschlossene Hohlräume vorhanden, das Bindegewebe trat jedoch hier in Form von Platten und Balken auf, welche an ihren Oberflächen von einem Epithelium überzogen waren, das in Form und Grösse der einzelnen Zellen, sowie in seiner ganzen Anordnung absolut dem im Tumor cavernosus vorkommenden glich. Die Räume dieses Tumors waren anscheinend leer, wahrscheinlich mit einer serösen Flüssigkeit erfüllt und klafften weit. Man denke sich eine der grossen Schweissdrüsen, wie sie in der Achselhöhle und in der Circumanalgegend vorkommen, ihres Epitheliums vollständig beraubt, so dass die Muskelfasern frei in die Höhle des

Drüsenkanals mit ihren kernführenden Bäuchen vorspringen, und man hat ein gutes Bild für das Aussehen dieses kleinen Tumors in der Brustdrüse, nur dass am Tumor nichts vorhanden war, was auf einen tubulösen Bau hätte schliessen lassen. Vollkommen analog war dagegen dieses Bild, welches der Brusttumor darbot, demjenigen, welches man von gewissen cavernösen Tumoren erhält, die sich durch das Vorwalten von Alveolen einer bestimmten (nicht bedeutenden) Grösse auszeichnen, sobald man nur aus letzteren sich den blutigen Inhalt entfernt und durch eine durchsichtige und farblose Flüssigkeit ersetzt denkt.

Aus diesen Gründen stehe ich nicht an, diesen kleinen Tumor aus der männlichen Mamma als einen Tumor cavernosus zu deuten, der sich noch nicht mit seinen Lacunen in ein Blutgefäss eröffnet hat.

3. Gefässe der Bindegewebssepta.

Das Vorkommen von Gefässen in den Bindegewebsseptis ist ebenfalls eine längst bekannte Thatsache, die für die Geschichte des Tumors vielleicht nicht genügend ausgebeutet wurde. Meine Beobachtungen in dieser Richtung haben mich gelehrt, dass die Gefässe in den Platten und Strängen des cavernösen Tumors im allgemeinen häufig vorkommen. Die Behauptung Wedl's, dass sie mit den grossen Bluträumen communiciren, kann ich nicht bestätigen; sie verhalten sich in jeder Hinsicht wie die Gefässe eines Krebsgerüstes, so findet man gelegentlich aber durchaus nicht jedesmal Gefässe, die für ihr grosses Lumen eine zu geringe Wandstärke haben, z. B. ein Blutrohr, in welchem auf einem Querschnitte leicht 3—4 Blutkörperchen Platz haben, mit Capillargefässwandungen. Eine Entwicklung solcher Gefässe zu lacunären Räumen des Tumores findet nicht statt. Diese Gefässe sind somit entweder von früher her übergebliebene, gleichsam von der Umwandlung in Geschwulst verschonte, oder sie sind mit und in der Geschwulst neugebildete. Der erste dieser beiden Fälle ist im allerhöchsten Grade unwahrscheinlich. Wie müsste es zugehen, damit ganz bestimmte einzelne Gefässe, während alle Gefässe in ihrer Umgebung einer colossalen Erweiterung mit theilweiser Dehiscens der sich berührenden Wandungen verfallen sind, nicht nur an diesem Processe in keiner Weise theilgenommen haben, sondern von ihm auch nicht in secundärer Form alterirt worden sind?

Es ist auch meines Wissens dies nicht die Meinung der Forscher[1]), sondern es wird angenommen, die Gefässe seien nachträglich neugebildete. Wenn Virchow sie auch Vasa vasorum nennt, so glaube ich, dass man diesen Ausdruck billiger Weise nicht so auslegen darf als hätte er damit gemeint, die Gefässe seien nicht neugebildet, sondern von vornherein in der Wandung anderer nachträglich ausgedehnter Gefässe vorhanden gewesen.

Nimmt man die Sache so, so muss man zugestehen, dass sich die Existens der gedachten Gefässe sehr wohl mit beiden Anschauungen verträgt. Die Einen sagen: nachdem die Herstellung des Tumors aus vorhandenen Gefässen beendigt (oder eingeleitet) war, haben in den übrigbleibenden Antheilen der ehemaligen Gefässwandungen Neubildungsvorgänge stattgefunden mit dem Resultate der Bildung von Bindegewebe und Blutgefässen; während die Anderen eben ein gefässführendes Bindegewebsgerüste mit Spalträumen und Epithelialbekleidung entstehen lassen.

Ich möchte an dieser Stelle hervorheben, dass die Frage, ob in den neugebildeten Hohlräumen der Geschwulst sich autochthone Blutzellen bilden, durchaus nicht zusammengeworfen werden darf mit der Frage: ob die Geschwulst eine Neubildung im Rokitansky'schen Sinne überhaupt, oder ob sie das Resultat einer, wenn auch vielfach mit Neubildungsvorgängen complicirten Gefässerkrankung im Virchow'schen Sinne sei. Mir ist es nicht gelungen, blutzellenhaltige, mit anderen blutführenden Räumen sicher nicht communicirende Hohlkolben zu sehen, wie dies u. A. Luschka angiebt. Mit den Hohlkolben, welche von der Wand der cavernösen Räume spriessen, ist es überhaupt eine eigene Sache. Man ist hier mannigfachen Täuschungen ausgesetzt; vor allem, wenn man bloss an Schnittpräparaten arbeitet. Wie Virchow bemerkt, können Schrägschnitte von runden Balken, die sich gerade in der Schnittebene der Wand implantiren, leicht mit länglich runden Excrescenzen verwechselt werden; und dann findet man oft schichtweise Gerinnungen von

---

[1]) Von allen Versuchen, das Zustandekommen des cavernösen Tumors zu erklären, verträgt sich der von Rindfleisch (Lehrb. d. path. Gewebelehre 2. Auflage 1871, pag. 120 ff.), gewagte am wenigsten mit dem Befunde von normalen Blutgefässen in den Bindegewebsseptis, ein Befund, dessen auch der genannte Autor weder bei seiner Beschreibung, noch bei seiner Erklärung des cavernösen Tumors gedenkt. Abgesehen davon ist Rindfleisch schuldig geblieben nachzuweisen, dass sein als solches unanfechtbares Raisonnement hier Anwendung findet, dass die von ihm zur Erklärung der Bildung cavernöser Geschwülste angerufenen Vorgänge wirklich an ihnen sich abspielen.

Fibrin, welche den Alveolus nicht ganz ausfüllen und nur an einer kleinen Stelle der Wand desselben anhaften. Hat das Gerinsel sich um eine Gruppe von Blutzellen herum gebildet, so können diese letzteren noch recht wohlerhalten sein, während das Fibrin schon deutlich streifig und von Bindegewebe nicht mehr mit Sicherheit zu unterscheiden ist. An einem Tumer cavernosus der Leber war das eben geschilderte Verhalten beinahe die Regel und wiederholte sich in der überwiegenden Anzahl der Cavernen. Dass eine solche Bildung leicht Hohlkolben — leere oder bluthaltige — vortäuschen kann, liegt auf der Hand.

Auf der anderen Seite lässt sich jedoch nicht läugnen, dass neben diesen Pseudokolben auch unzweifelhafte bindegewebige Auswüchse von den Wänden der Hohlräume in ihr Lumen hineinragen, welche bald die Gestalt einer Warze, bald die eines Kolbens zeigen und die Aehnlichkeit des Stromas der cavernösen Geschwulst mit Krebsgerüsten nicht unerheblich vermehren.

Diese Aehnlichkeit tritt auch zu Tage bei dem Studium eines anderen Antheiles des Stromas, nämlich der besonders massigen Durchdringungsknoten der Bindegewebsbalken. Während im Allgemeinen die Kreuzungsstellen der Balken eine der natürlichen Voraussetzung entsprechende Masse darbieten, findet sich, besonders in etwas grösseren Exemplaren, fast ausnahmslos je eine Stelle, an welcher das Bindegewebe in grösserer Quantität als Knoten angehäuft ist. Von einem solchen Knoten strahlen dann Septa nach verschiedenen Richtungen aus, ähnlich wie die Septula testis aus dem Highmorschen Körper des Hodens ausstrahlen. Erreicht der Tumor, wie z. B. so häufig in der Leber, die Oberfläche eines Organes so sieht man gelegentlich das dünne Bindegewebsplättchen, welches ihn nach aussen zu abgrenzt, an einer der Lage des dichten Knotens in der Tiefe entsprechenden Stelle seicht, nabelartig eingezogen. Mag man nun den Krebsnabel auf die eine oder die andere Weise auffassen, die Aehnlichkeit zwischen ihm und der geschilderten Einziehung ist jedenfalls evident. Uebrigens ist vielleicht auch für die Auffassung des Krebsnabels hier die Notiz nicht ohne Belang, dass das Bindegewebe, welches den ihm analogen Knoten im cavernösen Tumor bildet, durchwegs sich als ein jugendliches, zellenreiches, noch nicht ganz entwickeltes zeigt. An einem Falle von Tumor cavernosus subcutaneus lag der gut abgekapselte, etwa wallnussgrosse Knoten über dem äusseren rechten Malleolus und bestand an einer peripher gelegenen haselnussgrossen Stelle aus cavernösem Gewebe, dessen Balken und Platten mit dem bekannten Epithelium überzogen und

reich vascularisirt, dessen Hohlräume mit flüssigem Blute erfüllt waren, und in seiner ganzen übrigen Masse aus jungem, an Spindelzellen noch sehr reichem Bindegewebe, in welchem die bekannten, den glatten Muskelfasern gleichenden Zellen, die sich im Bindegewebe des Tumors cavernosus so häufig finden, besonders zahlreich und zu ganzen Bündeln angeordnet vorhanden waren. An vereinzelten Stellen waren leere Spalten und mehr gegen die Peripherie besonders gegen den Punkt zu, an welchem das Gewebe eigentlich cavernös war, fanden sich dergleichen Spalten mit Blut erfüllt und untereinander communicirend. Auch das Gewebe dieses — compacten — Antheiles der Geschwulst war ziemlich reich vascularisirt. Wie aus diesem Falle ersichtlich, macht das derbe, nicht cavernöse Gewebe gelegentlich einen sehr bedeutenden Antheil der ganzen Geschwulst aus. Aus ihm entwickelt sich nach der uns geläufigen Anschauung durch Lückenbildung und Arrodirung von Gefässwänden der fertige, mit Blut erfüllte Tumor cavernosus.

4. Injections-Versuche.

Es ist bekanntlich Virchow gelungen, die Räume des Tumor cavernosus von den Arterien aus mit Injectionsmasse zu füllen. Hierin kann ich aber keinen Beweis für den unmittelbaren Zusammenhang der Geschwulstlacunen mit Arterien erblicken. Jedermann weiss, dass feine Injectionsmassen, durch die Arterien injicirt, diese, das Capillargefässsystem und die Venen anfüllen, und aus letzteren ausfliessen. Wenn nun auch die Lacunen des Tumors ausschliesslich mit Venen communiciren, so werden sie sich doch gelegentlich von den Arterien her injiciren lassen, bei Anwendung eines lange dauernden, methodischen Druckes und bei dem Vorwalten einiger anderer günstiger Bedingungen. Zu diesen gehört vor allem eine nicht zu pralle Anfüllung des Tumors mit Blut, und dann, dass das Blut in seinen Räumen nicht gestockt sei und die Anastomosen verlege. Ebensowenig wie Injectionen von der Arterie aus für eine unmittelbare Communication mit derselben beweisend sind, ebensowenig lässt sich natürlicherweise durch Injectionen von den Venen her eine directe oder gar ausschliessliche Communication der Räume des Tumors mit Venen begründen. Da jedoch Injectionen äusserst schätzbare Instanzen zur Entscheidung von Fragen, wie die vorliegende ist, abgeben, so suchte ich nach einer von den eben angeführten Vorwürfen freien Methode, und fand diese in der Injection vom Tumor aus gegen das umgebende Gewebe zu. Solche Injectionen lassen sich nur an einer sehr kleinen Anzahl von cavernösen Ge-

schwülsten, und auch da nur mit grosser Schwierigkeit ausführen. Der Tumor cavernosus erreicht ja durchaus nicht immer eine natürliche Oberfläche und überragt eine solche kaum je anders als in Gestalt eines flachen Beetes. Es soll auch nicht viel mit der Canüle im Gewebe herumgestochert werden, sonst können leicht alte Verbindungen verlegt, neue eröffnet werden u. s. w. Mir gelang das Einbinden eines Tubus mehrmals an grossen cavernösen Geschwülsten der Leber, welche bis an den vorderen freien, scharfen Rand reichten, und demnach sowohl an der oberen als auch an der unteren Fläche zum Vorschein kamen. Mit einer feinen Scheere kappt man die Spitze eines mit einer Pincette, am besten in unmittelbarer Nähe des Leberrandes, erhobenen Fältchens ab, und lässt nun den Tumor ausbluten. Sanftes, streichelndes Drücken mit den Fingern und ein dünner Wasserstrahl kommen hierbei zu Hülfe. Fliesst nicht mehr viel Blut aus, so führt man eine Canüle von entsprechenden Dimensionen ein, und sucht nun die Ränder des Loches an ihr mit Pincetten hinaufzuziehen und festzubinden. Durch das Ausschlüpfen eines Theiles der Peripherie lasse man sich im Zuziehen der Schlinge nicht beirren; sondern lege nachher unmittelbar unter dem ersten einen zweiten, dritten, u. s. w. Faden an, so lange bis eben der ganze Rand des Loches festgebunden ist. Nun wird ganz wie gewöhnlich bei geringem und stetigen Drucke injicirt. — Ich habe ausschliesslich eine mit löslichem Berlinerblau gefärbte Leimmasse benützt und — so oft mir die Injection überhaupt gelang — sah ich die Masse nur aus den Querschnitten von Venenstämmen erst mit Blut vermischt und dann rein ausfliessen. Selbst wenn der Druck ein so hoher, und die Zahl und Grösse der durch zufällige Einschnitte gesetzten Abflussöffnungen eine so unbedeutende war, dass die Masse von den Venen aus in die Anfänge des Capillargebietes eindrang, und somit die der Centralvene zunächst liegenden Capillargefässe je eines Lobulus injicirt waren — selbst dann war niemals Injectionsmasse in ein arterielles Gefäss eingedrungen, zum Beweise dafür, dass die Räume des mit Blut erfüllten cavernösen Tumors in keinerlei — noch so feiner — unmittelbaren Communication mit Arterien stehen.

Hieran reiht sich ein Argument Rokitansky's, welches ich einfach citire, da ich noch nicht in die Lage gekommen bin, es aus eigener Anschauung bestätigen zu können. (Lehrb. d. path. Anat. I. pag. 206.) „Auf der Innenfläche der bezüglichen Vene ist zunächst stellenweise eine zartfilzige Wucherung wahrzunehmen, welche sich unter dem Mikroskope als das in die Vene hereinwachsende Maschenwerk ausweist."

Dieser letztere Befund, sowie der von Epithelialzellen, welche sich von Gefässepithelialzellen wesentlich unterscheiden, das scharfe Abgegrenztsein noch ganz junger Exemplare (und eventuell die Blutgefässe in den Septis ebensolcher) das Vorkommen von grösseren Bindegewebsknoten, die eine nabelartige Einziehung bewirken, das — wenn auch seltene — Vorkommen nicht mit Blut erfüllter derartiger Tumoren, die Resultate meiner Injectionsversuche, das sind Gründe, welche sich gegen die Virchow'sche Auffassung wenden, während die Art des Hineinwachsens in Venenlumina, die krebsnabelähnlichen Gerüstantheile, die Multiplicität des Tumors und vielleicht auch sein ganz besonders häüfiges Vorkommen in der Leber Instanzen abgeben, welche eine Analogisirung mit Krebsgerüsten sehr nahe legen, und somit die Auffassung Rokitansky's bestätigen.

Ueber die ungestielte Hydatide.

Soweit die bisher gewonnenen Resultate einer nichts weniger als abgeschlossenen Untersuchung sich mindestens mit der Berechtigung, an sich festgestellte Thatsachen zu sein, darstellen lassen, sind es folgende:

An der Furche zwischen Hoden und Kopf des Nebenhodens entspringt beim Menschen ein in maximo etwa zwei Erbsen grosses, niemals aber vollständig fehlendes Organ, bisher als „ungestielte Morgagni'sche Hydatide“ beschrieben und vielfach verkannt, von *Krause* z. B. für das Analogon einer Appendix epiploica des Darmes gehalten.

Dieses aus kernreichem Bindegewebe bestehende, von Nerven, Blutgefässen und weiten Lymphräumen durchsetzte Gebilde ist an seiner Oberfläche mit einem Flimmerepithelstratum überzogen, welches sich auch in die weiten, blinddarmförmigen, besonders zahlreich von der Spitze des Organes sich in das Innere derselben erstreckenden Einstülpungen seiner Oberfläche fortsetzt. An der Basis des Organes zieht sich eine geschlossene, meist unregelmässige Linie, oft schon für das freie Auge erkennbar, hin, welche die Grenze zwischen dem „echten Schleimhautepithel“ desselben und dem serösen Plattenepithel (Endothel) des visceralen Blattes der Tunica vaginalis propria darstellt, ähnlich wie am freien Rande des Ostium abdominale tubae oder an der Basis des Ovariums eine Linie die scharfe Grenze zwischen Peritoneal- und Keimepithel bildet. Nahe der Basis des Organes beginnt ein Canal, für dessen allgemeines Vorkommen ich einstweilen nicht einstehen kann, der sich gegen die Albuginea testis hinzieht und sich sogar gelegentlich ein Stückchen weit in die Substanz derselben hinein erstreckt[1]). Die Wandung dieses Canales

[1]) Dieses Canales hatte ich in meiner vorläufigen Mittheilung über die „ungestielte Hydatide“ (Centralbl. 1871, No. 4) keine Erwähnung gemacht, obwohl er mir bereits bekannt war. Bald nach der Veröffentlichung der Mittheilung hatte

besteht aus folgenden Schichten. Zu äusserst ein drehrundes Rohr aus dicht verfilzten, meist circulär gelagerten Bindegewebsfasern; sodann eine dicke Lage lockeren Bindegewebes, welches sich in dicht beisammen stehende, gegen das Lumen zu weit vorspringende Längsleisten erhebt, die sich in der Achse des Canales mit ihren Firsten beinahe berühren und tiefe Buchten zwischen sich fassen; zu innerst eine Lage von Cylinderepithel, welches höchst wahrscheinlich Cilien trägt. Die Analogie dieses ganzen Apparates mit denjenigen Theilen des weiblichen Genitales, die sich aus dem oberen Ende des Keimepithellagers entwickeln, ist eine deutliche, und die mikroskopischen Ansichten von Querschnitten des eben beschriebenen Canales und einer weiblichen Tuba sind einander zum Verwechseln ähnlich.

Herr Prof. Waldeyer die Güte, mir seine Ansichten über die Bedeutung des besprochenen Organes, welches er inzwischen selbst untersucht hatte, in einem Briefe mitzutheilen. In diesem Briefe nun ist u. A. eine vollständig zutreffende Schilderung und eine wohlbegründete Deutung des Canales enthalten.

Von der Lymphe und den Lymphgefässen der Leber.

(Aus dem physiologischen Institute zu Leipzig am 8. Mai 1874.)

(Aus: Berichte der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften.)

(Hierzu Tafel VI.)

I. Wenn man am lebenden Hunde kurze Zeit nach der Unterbindung des ductus choledochus die Lymphgefässe blosslegt, welche aus der porta hepatis in die cisterna chyli gehen, so bemerkt man sogleich, dass der sonst farblose Inhalt jener Gefässe gelblich tingirt ist. Diese Thatsache, welche mir Herr Professor *Ludwig* zu zeigen die Güte hatte, bildete den Ausgangspunkt der folgenden Untersuchung.

Die Vermuthung, dass die gelbe Farbe, welche die Leberlymphe zeigte, von beigemengter Galle herrühre, wurde durch den Versuch bestätigt. Einige Tropfen dieser Flüssigkeit gaben mit Salpetersäure auf das ausgeprägteste die *Gmelin*'sche Reaction auf Gallenfarbstoff. Um zu entscheiden, ob sie auch mit Gallensäure beladen sei, dazu genügten natürlich die geringen Mengen nicht, die ich mit der Pipette aus den geschwollenen Lymphgefässen entnommen hatte. Um die hierzu nöthigen Volumina zu gewinnen, boten sich zwei Wege: man konnte die Lymphe unmittelbar in der Nähe der Leber oder aus dem ductus thoracicus auffangen. Dem ersteren Unternehmen stellen sich grosse, keineswegs jedoch unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen, wenn man darauf verzichtet, die Lympe vor den Drüsen zu nehmen, welche sich zwischen die Leber und die Cisterna einschieben. Unmittelbar am Uebergang der Gefässe in den grossen Lymphbehälter gelingt es, eine Canüle einzubinden; aber aus ihr ist die Leberlymphe nicht rein zu gewinnen, da sich in den Drüsen, welche die portalen Lymphgefässe aufnehmen, der Lymphe aus der Leber auch die des Darmes beimischt. — Zudem würde man an diesem Orte nur einen Bruchtheil der Leberlymphe erhalten, da die Leber, wie ich im Verlaufe dieser Abhandlung zeigen werde, auch neben

der vena hepatica starke Lympfgefässe aussendet. — Endlich würde man zu fürchten haben, dass der Strom des Blutes, die Absonderung der Lymphe und der Galle wesentlich gestört würden, wenn man am lebenden Thiere so lange die Unterleibshöhle eröffnet hielte, wie es für die in das Auge gefasste Lymphgewinnung nöthig wäre.

So sprechen alle Gründe für die andere Art, zu der ich mich denn auch wendete. Einem grossen curarisirten Hunde wurde durch eine kleine Wunde in der linea alba der ductus choledochus zugebunden, und die Wunde vernäht. Hierauf wurde der ductus thoracicus am Halse aufgesucht und in denselben unmittelbar vor seinem Eintritt in die Vene eine Canüle eingesetzt. So gelingt es meist, in wenigen Stunden eine genügende Quantität Lymphe (100 bis 200 Ccm.) aufzufangen. War diese gewonnen, so wurde der Hund — etwa 5 Stunden nach dem Beginn des Versuches — aus beiden Carotiden verblutet. Aus diesem Blute wurde durch Anwendung der Centrifugalkraft ein vollkommen klares Serum abgeschieden.

Die Lymphe gerinnt gewöhnlich unmittelbar nachdem sie aufgefangen ist zu einer durchscheinenden gelben Gallerte. Wird dieselbe mit einem Pistill tüchtig abgearbeitet, so sammelt sich das Fibrin zu einer kleinen Flocke an letzterem und die abgepresste Flüssigkeit kann abgegossen werden. Die Fibrinflocke färbt sich an der Luft schnell arteriell roth. Die Flüssigkeit gestockt mitunter noch ein zweites Mal zu einer sehr dünnen und beweglichen Gallerte, aus welcher dann auf die eben angegebene Weise abermals ein Fibrinflöckchen abzuscheiden ist. Das schliesslich erhaltene Lymphserum wird nunmehr gleichzeitig und nach derselben Methode wie das Blutserum folgendermassen behandelt. Zunächst wird das Serumalbumin durch Zusatz von Alkohohl, oder durch Kochen und Ansäuern mit Essigsäure niedergeschlagen. Das Filtrat wird mit basisch essigsaurem Bleioxyd ausgefällt, wobei ein beträchtlicher Ueberschuss des Bleisalzes zu vermeiden ist. Der Niederschlag wird auf ein Filter gebracht und nun vollkommen ausgewaschen, d. i. so lange bis eine Probe des Waschwassers keinen Niederschlag mehr giebt, wenn man ihr einen Tropfen Schwefelammonium zusetzt. Diese Vorsicht ist aus Gründen, welche später erörtert werden sollen, unbedingt nothwendig. Dann wurde der Niederschlag mit heisser verdünnter Natronlauge ausgezogen, das Filtrat mit Kohlensäure gesättigt, eingedampft, mit absolutem Alkohol ausgezogen, abermals zur Trockne abgedampft und mit absolutem Alkohol extrahirt, wobei Spuren kohlensauren Natrons zurückblieben; nun wurde die alkoholische Lösung mit Aether geschüttelt und dann ruhig hinge-

stellt, War taurocholsaures Natron in dem untersuchten Serum, so setzte sich dasselbe in kleinen Krystallen ab. War der Bleiessig nicht vollständig ausgewaschen worden, so ging essigsaures Natron beim Extrahiren mit heisser Natronlauge in Lösung über und dieses Salz theilt mit den gallensauren Natronsalzen die Eigenschaft, in absolutem Alkohol löslich zu sein und aus dieser Lösung durch Aether ausgefällt zu werden. Stellt man dann auch mit dem letzten Niederschlag die *Pettenkofer*'sche Reaction an, so kann diese ein positives Resultat ergeben, selbst wenn der Niederschlag nur zum kleinsten Theile aus gallensaurem, zum grösseren Theile hingegen aus essigsaurem Natron besteht.

Nun haben die Analysen ergeben, dass jedesmal, wenn die Versuchsbedingungen wirklich erfüllt waren, die Lymphe eine beträchtliche Menge von Gallensäuren enthielt, das Blut jedoch nicht eine Spur davon. Genaue Zahlenangaben sollen nicht gemacht werden, weil eine Controlanalyse, die mit einer abgewogenen Menge von gallensaurem Natron, aufgelöst in Lymphe, angestellt wurde, die geschilderte Methode als zu quantitativen Angaben nicht berechtigend erwiesen hat. Doch kann folgende Angabe eine ungefähre Vorstellung von der Menge der auf diese Weise in die Lymphe gelangenden Gallensäure geben. Während einiger Stunden wurden 150 Gramme Lymphe von einem Hunde erhalten, dessen Gallengang zugebunden war. Der alkoholische Extract aus dieser Lymphe füllte die Hälfte eines grossen Probirgläschens, die andere Hälfte wurde mit Aether gefüllt; der Niederschlag füllte nach tagelangem Absitzen das ganze untere Drittel des Probirgläschens und jede Spur desselben gab eine sehr starke *Pettenkofer*'sche Reaction.

Von einigen Versuchen abgesehen, welche deshalb kein Resultat ergaben, weil nur eine sehr geringe Quantiät — wenige Gramme — Lymphe erhalten wurde, haben alle dasselbe Resultat geliefert. In einem Falle, wo ebenfalls nicht ganz 50 Gramme abgesondert wurden, war zwar in dieser die Anwesenheit von Gallensäure nicht zu verkennen, doch zeigte auch der aus dem Blutserum gewonnene Niederschlag eine schwache *Pettenkofer*'sche Reaction. Die Section des betreffenden Hundes lehrte aber, dass sein Milchbrustgang sich am oberen Ende spaltete und mit zwei von einander gesonderten Aesten in die Vene mündete. In den einen dieser Aeste war die Canüle eingebunden, durch den anderen floss die Lymphe ungehindert in die Blutbahn ab. Wahrscheinlich jedoch wählte der grösste Antheil der Lymphe den Weg durch die Canüle, welcher fast gar keine Widerstände bot, sodass nur eine unbeträchtliche Quantität der

Gallenbestandtheile in's Blut gelangte. Ferner ist noch zu bemerken, dass in denjenigen Fällen, in welchen keine Lymphe aus der eingebundenen Canüle abfloss, wegen nicht zu beseitigender Gerinnungen oder aus sonst irgend einer Ursache das ganze Lymphgefässsystem des Thieres sich bei der Section prall mit Lymphe gefüllt zeigte, das Blut jedoch keine Spur von Gallensäure enthielt. Diese Versuche begründen den folgenden Satz:

Die Gallerte tritt, wenn ihre natürlichen Durchflusswege verstopft sind, in die Lymphbahnen der Leber, und von da ausschliessslich durch den ductus thoracicus in das Blut über. Ist ausser dem Gallengang aueh noch der Milchbrustgang unterbunden, so gelangt die Galle entweder gar nicht oder nur spurweise in das Blut.

II. In diesen physiologischen Erfahrungen lag für mich die Aufforderung, nachzusehen, durch welche anatomische Einrichtung der Leber der Uebertritt der Galle in die Lymphgefässe begünstigt wird. Eine auf dieses Ziel gerichtete Untersuchung konnte selbstverständlich nur dann mit der Hoffnung auf einen Erfolg begonnen werden, wenn es gelungen war, neue Methoden zu finden, durch welche die in Betracht kommenden Einrichtungen der Leber vollkommener, als es bisher möglich, darzustellen waren. Unter dem Aufsuchen derselben ist die Zeit verstrichen, welche mir für diesmal zu Gebote stand, so dass die folgenden Mittheilungen nur zum kleinsten Theile die auf unsere Frage bezüglichen Structuren beschreiben; sie sind wesentlich der Darstellung einiger Hülfsmittel gewidmet, welche in Zukunft für die Anatomie der Leber nützlich zu werden versprechen.

1. Seit lange ist es bekannt, dass eine wässerige Flüssigkeit, welche in die Gallengänge eingetrieben wurde, in die Lymphbahnen übergeht. Diese Thatsache giebt eine Hoffnung, die Wege von den Gallen- zu den Lymphgefässen unmittelbar darzustellen, wenn es gelingt, bei der Injection alle Diffusionen auszuschliessen und die Bahnen, auf welchen der Uebertritt geschah, so zu fixiren, dass sie der mikroskopischen Untersuchung zugänglich werden können. — Bevor ich die Mittel erwähne, durch welche ich jene Forderungen erfüllt zu haben glaube, bemerke ich, dass alle Injectionen der Gallengänge an der Leber des Kaninchens ausgeführt wurden. weil sich an dieser sicherer als an der des Hundes die Gallencapillaren darstellen lassen. Die Einspritzungen begannen vor dem Eintritt der Leber in die Todtenstarre, sie erstreckten sich aber häufig über

den Beginn derselben hinaus. Der Druck, unter welchem injicirt wurde, war von jedesmal bekannter Grösse.

Die Injectionsmassen, welche zur Anwendung kamen, bestanden aus Auflösungen von Harzen in Terpentinöl oder in Chloroform. — Zunächst griff ich zu einer Auflösung von Alkannin in Terpentinöl, deren sich schon *Asp* bedient hat. Diese Lösung ist äusserst leichtflüssig, obwohl sie innerhalb eines mit Wasser durchtränkten Gewebes nur in Folge eines Druckunterschiedes fortschreitet; Fette, die sie auf ihrem Wege trifft, durchtränkt sie dagegen rasch und färbt dieselben tiefroth. Nach dem Abdunsten des flüchtigen Oeles hinterlässt das käufliche Alkannin einen geringen Körper, so dass die Wege, welche die flüssige Masse eingeschlagen hat, schliesslich nur an der rothen Farbe erkannt werden können. Hierdurch sind aber, weil die Leberzellen Fette zu enthalten pflegen, Veranlassungen zu mancherlei Fehlern gegeben. Um die Masse brauchbarer zu machen, versuchte ich einen Zusatz von Colophonium. Nach den gewonnenen Erfahrungen erwies sich jedoch dieses Mittel als wenig empfehlenswerth. Die Masse trocknet innerhalb flüssiger Härtungsmittel langsam oder gar nicht, so dass sie beim Schneiden der Präparate die Oberfläche derselben beschmutzt. Trotz mannichfacher Nachtheile ist das unvermischte alkanninhaltige Terpentinöl sehr nützlich, weil sich mit Hülfe desselben darlegen lässt, dass sich bei einem Druck von 25 Mm. Hg. der Uebergang der Flüssigkeit aus den Gallencapillaren durch die Leberzellen hindurch in die Lymphgefässe derart bewerkstelligen lässt, dass ausser den genannten Bestandtheilen kein anderer eine rothe Färbung annimmt.

Mannichfache Vorzüge von dem oben genannten Injectionsmittel gewährt eine filtrirte Lösung von Asphalt in Chloroform. Sie hinterlässt nach dem Verdunsten des Chloroforms einen zusammenhängenden Rückstand, so dass sich nach vorgängiger Härtung des Organes feine Schnitte anfertigen und diese mit aufhellenden Mitteln aller Art behandeln lassen. Zur Darstellung der Gallencapillaren und insbesondere zur Darlegung des Ueberganges derselben in die gröberen Gänge eignet sich, soweit mir bekannt, keine Masse besser, als diese. Auch diese Lösung gelangt aus den Gallencapillaren durch die Leberzellen hindurch in die Lymphgefässe; hierzu ist jedoch mindestens ein Druck von 30 Mm. Hg. nöthig. Durch diesen höheren Druck werden aber unzweifelhaft Zerreissungen herbeigeführt, wie daraus hervorgeht, dass sich oft die schwarze Farbe auch einen Weg in die Blutcapillaren bahnt. Immerhin glaube ich künftigen Beobachtungen versprechen zu dürfen, dass es bei einer sorgfältigen

Regulirung des Druckes und der Lösungsdichtigkeit gelingen werde, die Lymphgefässe von den Gallengängen aus zu injiciren, ohne dass ein Uebertritt der Masse auch in die Blutgefässe hinein stattfindet. Bei der Anwendung der Asphaltlösung ist es mir wiederholt gelungen, nicht bloss die Stämme der Lymphgefässe neben der vena portarum, sondern auch die unter dem Bauchfellüberzug verbreiteten Lymphnetze zu füllen. Aus den mitgetheilten Versuchen mit harzigen Injectionsmassen geht hervor, dass die mit Wasser nicht mischbaren Flüssigkeiten sehr leicht in die Anfänge der Lymphgefässe hinüber dringen, vorausgesetzt dass dieselben aus den Gallencapillaren in die Leberzellen gelangt sind.

2. Während meiner Beschäftigung mit Harzinjectionen wurde ich darauf aufmerksam, dass die Lymphe auch noch auf einem anderen Wege als den bisher bekannten die Leber verlassen kann. In dem Bindegewebe, durch welches die stärkeren Aeste der vena hepatica an ihre Umgebung festgeheftet sind, laufen Lymphgefässe, die sich in die Stämmchen des Zwerchfells ergiessen. Nachdem ich einmal von der Anwesenheit dieser Stämmchen unterrichtet war, lag es nahe zu prüfen, ob man durch sie leichter zu den Lymphwurzeln der Leber gelangen könnte, als dieses von der porta aus möglich ist. Nach mancherlei vergeblichen Bemühungen glaube ich ein Verfahren ermittelt zu haben, durch welches das angestrebte Ziel zu erreichen sein dürfte. Die Handgriffe, deren ich mich bediente, beginnen mit dem Aufsuchen eines Stammes der Lebervene unmittelbar bevor derselbe in die Hohlvene ausmündet. An diesen Ort führt man unter den Bauchfellüberzug die Canüle einer Stechspritze und schickt aus dieser einige Tropfen flüssigen Berliner Blaus in das Bindegewebe. In der Regel füllt sich hierdurch ein Netzwerk von Gefässen, deren Zuflüsse aus der Leber hervortreten. Wenn dieses sichtbar geworden ist, so hat man augenblicklich die Einspritzung zu unterbrechen, weil sonst das Berliner Blau diffus im Bindegewebe gegen die Leber hin fortschreitet. Unter den Gefässen, welche das injicirte Netzwerk zusammensetzen, findet sich nun in der Regel eins, in dessen Lichtung eine feine Canüle einzuführen ist. Wenn dieses Letztere gelungen ist, so kann dieselbe dort festgebunden und durch sie unter gelindem Druck Injectionsmasse eingeführt werden. Auf diese Art ist es mir wiederholt gelungen, eine Lösung von Berliner Blau so weit in die Leber zu treiben, dass dasselbe in den Stämmen, welche die vena portarum begleiten, zum Vorschein kam. Da nirgends ein Extravasat sichtbar war und da, soweit wir wissen, die Abflusswege der Lymphe

neben der vena hepatica mit derjenigen neben der vena portarum niemals durch gröbere Stämmchen in Verbindung stehen, so war es von vornherein wahrscheinlich, dass der Uebergang der blauen Flüssigkeit aus der einen in die andere Gattung von Stämmen auf capillarem Wege bewirkt war. In allen Fällen war dieses Letztere jedoch nur auf eine beschränkte Weise geschehen. Wo die blaue Farbe vorhanden, verfolgte sie die Blutgefässe, so dass unter dem Mikroskope Bilder zum Vorschein kommen, wie sie von *Mac Gillavry* dargestellt worden sind. Die mikroskopische Analyse wird zu entscheiden haben, ob sich die Farbe eine künstliche Strasse eröffnet hat, oder ob sie die normalen Lymphspalten ausfüllt.

Da das Bindegewebe die Lymphgefässe regelmässig begleitet und bei ihrer Entstehung aus den Gewebslücken betheiligt ist, so musste auch im Parenchym der Leber das Bindegewebe reichlicher als man bisher glaubte, vertreten sein, vorausgesetzt, dass in demselben die Lymphwurzeln zahlreich vorhanden waren. Ersteres ist nun wirklich der Fall, denn es schliesst sich dasselbe nicht bloss den grossen Gefässstämmen an, sondern es erstreckt sich auch reichlicher in die Leberinseln hinein, als man bis dahin geglaubt hat.

3. Obwohl in den anatomischen Handbüchern des Bindewebes Erwähnung geschieht, welches die vena hepatica umstrickt, so möge mir eine neue Beschreibung desselben gestattet sein, durch welche die Beschaffenheit desselben genauer dargelegt wird. Zur Darstellung derselben bediene ich mich zweier Methoden. Die erste derselben besteht darin, dass in die Lebervene eine wässerige Lösung von 1procentigem Chlorpalladium eingespritzt und darauf die Leber in einer concentrirten Lösung von doppelt chromsaurem Kali gehärtet wird. Aus dem gehärteten Organe lassen sich die Wandungen der Lebervene bis zu sehr feinen Aesten herab leicht ausschälen und mittelst eines Borstenpinsels unter Wasser von dem letzten Reste anhängender Leberzellen befreien. Wenn man ein Stück dieser Wand in einfacher Lage unter dem Mikroskop ausbreitet, so erhält man ein Bild, dessen Wiedergabe in Fig. 1 versucht ist. Zunächst ins Auge fallen starke Stränge, die aus lockigen Fibrillen und eingesprengten Zellen gebildet und zu einem Netze geflochten sind, dessen Maschen kaum länger als breit sind. An den feineren Aesten aber schneiden sich die schmaler gewordenen Bindegewebsbündel unter spitzeren Winkeln, so dass nun der Längsdurchmesser der Maschen bedeutend grösser, als der Breitendurchmesser ausfällt. In die Maschenräume, welche von den stärkeren Faserzügen umrahmt werden, spinnt sich ein Netz von feinsten Fasern mit

äusserst engen Maschen hinein; ein Verhalten, was in Fig. 1 nur höchst unvollkommen wiedergegeben werden konnte. Auf diesem zweiten Netze sitzen Leberzellen fest angeheftet. Die beschriebenen Formen geben höchst wahrscheinlich Veranlassung zu den kugeligen Lücken, welche *Asp*[1]) in der Umgebung der Lebervene beschrieben und abgebildet hat. Ist dieses der Fall, so müssen von der Adventita der Lebervene auch noch Bindegewebszüge zwischen die Reihen der Leberzellen hineinreichen. Hierüber erhält man durch die oben geschilderte Präparation keinen Aufschluss, weil die Bindegewebsfäden durch das Härten ausserordentlich brüchig werden; wohl aber sind sie auf andere Weise darstellbar. Man führe, um dieses zu erreichen, durch die vena hepetica so lange einen Strom von $^1/_2$procentiger Kochsalzlösung, bis die Flüssigkeit aus der vena portarum farblos abläuft. Nachdem das Salzwasser abgetropft ist, spritzt man in die vena hepatica eine verdünnte Lösung von salpetersaurem Silber. Diese letztere dringt nur bis in das Centrum einer Leberinsel vor, wahrscheinlich weil die innerhalb und ausserhalb der Capillaren gebildeten Niederschläge das Fortschreiten der Flüssigkeit verhindern. Durch das Silber werden also nur die Wände der vena hepatica und ihre nächsten Umgebungen in einen mässigen Härtegrad versetzt, während die übrige Lebermasse weich bleibt. Unter diesen Umständen hat es keine Schwierigkeit, die Lebervene bis in ihre feinsten Verzweigungen hinein in einen zusammenhängenden Baume herauszuheben, wenn man die Leber unter Wasser mit den Fingern zerdrückt und die Zellen mit Hülfe eines Borstenpinsels abspült. Breitet man ein mittelgrosses Aestchen dieses Baumes mit oder ohne vorgängige Färbung durch Carmin aus und betrachtet es bei 300facher Vergrösserung, so sieht man auch hier auf der äusseren Fläche der Wand das schon vorherbeschriebene Fasernetz, dessen feinere Anordnung nun aber bei weitem nicht mehr so deutlich hervortritt, als an dem durch Palladium und chromsaures Kali gesteiften Präparate. Von den Rändern der Wand erstrecken sich jetzt aber Theile, die man bei der ersten Präparationsweise nicht zu Gesicht bekam. Sie bestehen wiederum aus einem Netz feinerer und gröberer Fädchen, von denen jedoch die letzteren überall weit zarter sind, als die stärkeren Bündel der tunica adventita. In den Maschen dieses Netzes sitzen wiederum Leberzellen und an die gröberen Fäden schliessen sich Bindegewebszellen an. Die Fig. 2 ist dazu bestimmt, dem Leser eine Vorstellung von der Ge-

[1]) Diese Berichte 1873. p. 480. und Fig. 7.

stalt des Netzes geben. Durch diesen Befund sind, wie mir scheint, die Fäden freier dargelegt, welche *Asp* von der äusseren Oberfläche der Venenwand zwischen die Zellenbalken hineinstrahlen sah. Ueber Ueber die genauere Anordnung des Netzes und sein Verhalten zu den Leberzellen geben die nach dieser Methode angefertigten Präparate jedoch keinen Aufschluss. Besser eignet sich hierzu ein anderes Verfahren, das ich umständlicher beschreiben werde.

Nachdem man die Gallengänge einer möglichst frischen Leber soweit als thunlich durch sanftes Streichen von ihrem Inhalte befreit hat, führt man in dieselben unter einem Drucke von 20 bis 25 Mm. Hg. etwa 15—20 Ccm. einer 1procentigen Lösung von Osmiumsäure ein. Ist dieses geschehen, so kann entweder die Injection als beendigt angesehen werden, oder man kann uuter dem vorerwähnten Druck noch flüssiges Berliner Blau nachschicken, bis die Farbe an den Grenzen der Inseln sichtbar geworden ist. Weiter als dorthin dringt sie überhaupt nicht vor. Nach dieser Zubereitung legt man die ganze Leber in eine concentrirte Lösung von doppelt chromsaurem Kali. Nachdem sie dort vier Tage lang verweilt und auf der Oberfläche hart geworden ist, schneidet man aus derselben feinste Stückchen heraus, begreiflich mit der Vorsicht, dass man vorher an den Stellen, durch welche die Schnitte gelegt werden sollen, den Bauchfellüberzug und die unmittelbar an ihm haftenden Leberzellen entfernt hat. Ein solches dünnes Schnittchen behandelt man unter Wasser, dem einige Tropfen von doppelt chromsaurer Kalilösung zugesetzt sind, auf einer untergelegten Korkplatte mit feinen Marderpinseln. Durch sehr anhaltendes und sanftes Betupfen mit dem zarten Pinsel gelingt es ein äusserst feines Häutchen zu erhalten, auf dessen Beschreibung ich alsbald zurückkommen werde. Sollte es an diesem Tage auch der äussersten Sorgfalt nicht gelingen, ein zusammenhängendes Häutchen darzustellen, so muss man an jedem der drei bis vier folgenden Tage das Auspinseln wiederholen. Da indess auch die Härtung tiefer in das Innere der Leber fortgeschritten ist, so empfiehlt es sich jetzt, die Schnittchen aus den Theilen des Organes zu nehmen, welche in der Nähe der grösseren Gefässstämme liegen. Eine wesentliche Bedingung des Gelingens beruht auf der entsprechenden Härte der Leber. Ist dieselbe auf einen zu hohen Grad gediehen, so springen die in einer Insel vereinigten Leberzellen unter der Einwirkung des Pinsels als ein Ganzes heraus und es stellt dann das ausgepinselte Läppchen ein Netzwerk aus grossen polygonalen Maschen dar, die von den feinen Gallengängen, den Pfortaderzweigen und dem sie zusammenheftenden Bindegewebe

umrahmt werden. Ist dagegen die Leber noch zu weich, so lassen sich die einzelnen Zellen nicht in kleine Stückchen zerbröckeln und darum nicht aus dem Stroma, in dem sie liegen, herausbefördern. Den günstigen Härtegrad erreichen nun keineswegs alle Lebern, so dass es mir trotz aller Sorgfalt und Uebung weitaus nicht an jeder Leber gelungen ist, das Netz vom Bindegewebe darzustellen, welches im Bereiche der Inseln vorkommt. Nicht wenige Male war es dagegen darstellbar.

Das Ansehen, welche das Bindegewebsnetz nach der beschriebenen Behandlungsweise gewährt, ist in den Figuren 3 und 4 wiedergegeben. Von diesen beiden Bildern ist das dritte unter der Tauchlinse, das vierte nach dreihundertfacher Vergrösserung gezeichnet. Da dasselbe aus netzförmigem Bindewebe geflochten ist, so gleicht es dem äusseren Ueberzug der Lebervene, von dem es sich jedoch durch seine ganz ausserordentliche Zartheit unterscheidet. Diese ist so gross, dass die Bedeckung von dem geringsten Rest der zertrümmerten Leberzellen hinreicht, um es vollkommen unsichtbar zu machen.

In Anbetracht der Aehnlichkeit, welche das in den Figuren 3 und 4 gezeichnete Netz mit andern und namentlich mit dem Bindegewebe des Bauchfellüberzuges und der tunica adventitia der Lebervene darbietet, könnte der Verdacht entstehen, als ob unser Verfahren nichts anderes als eine mühseelige Darstellungsweise der zuletzt genannten Formen gewähre. Diese Annahme lässt sich jedoch leicht widerlegen. Der Bauchfellüberzug bleibt von vornherein ausser Frage, weil sich das hier in Betracht kommende Netz gerade aus den Abtheilungen der Leber am leichtesten darstellen lässt, welche von den oberen und unteren Flächen derselben am weitesten entfernt sind. Zudem ist das Bauchfell aus weit gröberen Fäden gewebt. — Gegen die Identität unseres Netzes mit dem der tunica adventitia spricht vor Allem der Umstand, dass das erstere auch auf Schnittchen zum Vorschein kommt, welche senkrecht gegen die Längsaxe der vena centralis gelegt wurden. Auf solchen Präparaten ist alsdann die vena centralis herausgeklopft, während die Zellenreihen, die unmittelbar an das Bindegewebe an der äusseren Umrandung der Leberzelle stossen, sich noch unverändert erhalten haben. Demgemäss kann es keinem Zweifel unterliegen, dass das von mir dargestellte Netz ein Bestandtheil der Insel selbst ist.

Jetzt bliebe zu erörtern, in welcher Beziehung das netzförmige Bindegewebe zu den übrigen Bestandtheilen der Leberinsel steht. An den Orten, an welchen es dargestellt ist, schliesst es sich den Leberzellen auf das Innigste und zwar in ähnlicher Weise, wie die

Epithelialzellen des Peritonaeums und der Pleura dem unter ihnen liegenden Flechtwerke an; das Netz erscheint als ein Mittel, um Leberzellen in ihrer Lage zu erhalten. — Weit weniger klar ist sein Verhältniss zu den Capillaren der Leberinsel. Seiner grossen Ausbreitung entsprechend muss es nicht bloss an die Leberzellen, sondern auch an die Blut-Capillaren hinanreichen. Man könnte darum geneigt sein, in den feinen Fäden, welche wiederholt als tunica adventitia der Capillaren beschrieben worden sind,[1]) Theile des Netzes zu sehen. Ein positiver Beweis hierfür lässt sich leider nicht erbringen, weil es bisher unmöglich war, an demselben Präparate die Capillaren und das Netz zugleich darzustellen. Wenn die Leber noch weich genug ist, um aus ihr das Netz zu gewinnen, so gelingt das Gleiche zum mindesten nicht in deutlicher Weise mit den Capillaren, gleichgültig ob dieselben vorher injicirt oder leer waren. Wenn dagegen die Leber hart genug ist, um aus ihr das Capillarnetz unverfänglich herauszuschälen, so sieht man zwar häufig äusserst feine Fasern in den Lücken zwischen den Capillaren, aber diese sind weit sparsamer als in dem vollkommen isolirten Bindegewebsnetze. Die Entscheidung wird so lange vertagt werden müssen, bis die Darstellung der Capillaren und des Fasergeflechtes mit gleicher Vollkommenheit an demselben Präparate gelungen ist. — Ebenso unbestimmt wie diese lautet die Auskunft über die Ausbreitung, welche dem Bindegewebsnetz innerhalb der Leber zukommt. Könnte man mit Sicherheit behaupten, dass es nur dort wo es darstellbar, vorhanden sei, so wäre ihm nur ein beschränktes Gebiet zuzuerkennen. Ein solcher Ausspruch dürfte aber sehr gewagt sein. Leicht kann man sich davon überzeugen, dass der künstlich herbeigeführte Aggregatzustand der Leber an den Erfolgen der Auspinselung jedenfalls zu weit betheiligt ist, um es zu gestatten, dass nach einer vergeblichen Bemühung die zähen und gröblichen Massen der Leberzellen von dem zartesten Netze abzustäuben schon auf die Abwesenheit der letzeren zu schliessen sei. Zudem erhebt sich ein anderer Umstand gegen die Beweiskraft selbst häufiger Misserfolge. Von dem Flechtwerk, welches die vena hepatica bis in ihre feinsten Aeste hinein umstrickt, strahlen überall Fäden in die Lebermasse, die sich zu einem Netze verschlingen, das mit dem ausgepinselten die grösste Aehnlichkeit besitzt; sind diese in der That die Anfänge der in den Inseln ausgepinselten Netze, dann wäre diesen eine sehr grosse Verbreitung eigen.

---

[1]) Henle, Handbuch der Anatomie, II. Band, 2. Aufl. 211.

4. Aus feinen Schnittchen einer Leber, deren Gallenwege mit Osmiumsäure injicirt und die darauf kürzere Zeit in chromsaurem Kali gehärtet sind, holt der Pinsel öfter noch ein zartes Netz hervor, dessen Ansehen von dem bisher geschilderten durchaus abweicht. Während das frühere aus weichen lockigen Faden geschlungen, gleicht dieses einem Gitter, das aus feinsten Drähten zusammengelöthet ist. Die Lücken, welche zwischen seinem Gerüste bleiben, sind von polygonarer Gestalt, und überall so gross, dass eine Leberzelle in ihnen Platz findet.

Wenn eine Auspinselung an einer Leber gelungen ist, deren Gallengänge hinter der Osmiumsäure her mit Berliner Blau erfüllt waren, so enthalten öfter einzelne Stäbchen des Gitters in ihrem Innern einen deutlichen Niederschlag aus blauen Körnchen, und immer lässt sich mit Leichtigkeit der Zusammenhang des freigelegten Netzwerks in das der Lebercapillaren hinein verfolgen, welches die unversehrten Leberzellen des Präparates zwischen sich fasst. Nach diesem Verhalten, welches in Fig. 4 (300fache Vergrösserung) und in Fig. 5 (Tauchlinse) dargestellt ist, kann es keinem Zweifel unterliegen, dass die scheinbaren Stäbchen in der That Röhrchen sind, welche die unmittelbare Fortsetzung der Gallencapillaren bilden. Da somit die Gallencapillaren nach der Entfernung der Leberzellen und zwar oft auf weite Strecken hinaus (siehe Fig. 4) stehen bleiben oder am Rande eines Zellenhaufens wie in Fig. 5 bei *g* frei hinausragen, so folgt hieraus, dass die Gallencapillaren keineswegs Furchen zwischen den Leberzellen, sondern selbständige Gebilde sind, die ihre eigne Wand tragen. Allerdings ist hier der Einwurf zu berücksichtigen, dass jenes selbständige Gerüst durch eine Einwirkung der Osmiumsäure auf die mit ihr in unmittelbarer Berührung gelegenen Antheile der Zelle hervorgebracht sein könnte. Gewiss ist die Einwirkung der Osmiumsäure von den Gallencapillaren aus nach der Substanz der Leberzellen hin vorhanden, aber eben so gewiss stuft sich dieselbe in die Zelle hinein allmälig ab und darum ist die ungemeine Schärfe, mit welcher sich die freistehende Gallencapillare gegen ihre Umgebung absetzt, schwer erklärlich ohne die Annahme einer vorgebildeten Wand. Jedenfalls wird unter dieser Voraussetzung die Beschaffenheit des Bildes am einfachsten erklärt. — Zu dem Bindegewebe steht das von mir als Wand der Gallencapillare gedeutete Gebilde in keiner nachweisbaren Beziehung. Dieses zeigt sich ebensowohl an den Präparaten, welche das Bindegewebsnetz besitzen, als an solchen denen es fehlt.

Sollte die allgemein verbreitete Anschauung, dass die Wurzeln der Lymphgefässe mit dem Bindegewebe gegeben sind, auch für die Leber giltig sein und sollte, wie man gegenwärtig annimmt, in der Leberzelle die Galle entstehn und von dort erst in die Gallencapillaren übergeführt werden, so würden sich nach meinen anatomischen Untersuchungen schon vom hydraulischen Gesichtspunkte aus der Erklärung der physiologischen Thatsache, von welcher ich ausging, grosse Schwierigkeiten entgegenstellen.

Ueber die Beschaffenheit des Axencylinders.

(Aus: Beiträge zur Anatomie und Physiologie, als Festgabe Carl Ludwig zum 15. Oktober 1874 gewidmet von seinen Schülern.)

(Hierzu Tafel VII.)

Bei Körpern, deren Dimensionen eine beträchtliche Grösse haben, ist im Allgemeinen das Urtheil über die Consistenz, den Aggregatzustand, ein so leichtes, dass es sich bei der Betrachtung der Körper als eines der ersten Merkmale ergibt. Durch das Heruntersinken von einer, zwei oder allen drei Abmessungen der Körper unter eine gewisse Grösse wird aber das Urtheil über den Aggregatzustand beträchtlich erschwert, nicht nur so sehr, als durch die erschwerte Wahrnehmbarkeit der Körper bedingt wird, sondern noch weit mehr, wegen gewisser Verhältnisse, die, bei grossen Körpern ausser Betracht stehend, bei kleinen sehr ins Gewicht fallen; so z. B. die Oberflächenanziehung, die Oberflächenspannung u. s. w. — Bei Betrachtung der Elemente organischer Structuren haben wir es aber immer mit solchen Körpern zu thun, von denen mindestens eine Dimension sehr klein ist. Zu der hierdurch für die Beurtheilung ihres Aggregatzustandes gesetzten Schwierigkeit tritt aber bei den organischen Structurelementen noch manche neue hinzu, wie die rasch nach dem Tode eintretenden Veränderungen der Bestandtheile, die besondere Art, wie sie untereinander verflochten und schwer zu isoliren sind u. a. m. Alle diese Umstände machen mitunter grosse Umwege nothwendig, auf denen man erst zu einem Urtheil über die Aggregatform der Structurelemente gelangt; und dieses Urtheil ist dann um so unsicherer, je weiter der Umweg war, auf welchem man dazu gelangte.

Bei Rückenmarksuntersuchungen, die zu einem anderen Zwecke unternommen waren, haben sich nun Beobachtungen an Axen-

cylindern ergeben, die zu einem Schluss auf den Aggregatzustand der nervösen Elemente berechtigen.

Querschnitte von Fischrückenmark, welches in Lösungen von Chromsäure oder saurem chromsaurem Kali, oder in Müller'scher Flüssigkeit gehärtet wurde, zeigen nach der Tinction mit Carmin das bekannte Bild eines tief roth gefärbten, fast punctförmigen Axencylinderdurchschnittes, der umgeben ist von ungefähr concentrischen Lamellen des ungefärbten Markes. Es ist auch bekannt, dass man bei stärkerer Vergrösserung jene rothen Puncte vielfach als Sterne, kurze Linien, Halbmonde u. s. w. erkennt, die dann, als Querschnitte, canellirten, bandförmigen, rinnenartigen Axencylindern entsprechen. Fig. 1 stellt einen Abschnitt (die Hinterstränge) vom Rückenmark des Cyprinus carpio, nach der Behandlung mit Chromsäure, Carmin, Terpentin dar: und zwar bei zweihundertmaliger Vergrösserung. An so behandelten Präparaten kommen aber auch vereinzelte Axencylinderquerschnitte vor, die einen viel grösseren Antheil der Dicke der ganzen Nervenfaser für sich in Anspruch nehmen, durch Fortsätze der verschiedensten Formen, welche sie ins umliegende Mark hineinsenden. (Besonders an etwas schrägen Schnitten kann ein solch vereinzelter Fortsatz von unregelmässig cylindrischer Form, wie er mitunter vorkommt, eine Verzweigung des Axencylinders vortäuschen. Bei schwacher Vergrösserung sieht es aus, als könnte man den rechtwinklig abgezweigten Fortsatz bis über den äusseren Contour des Markes hinaus verfolgen.) An manchen Rückenmarken finden sich solche Fortsätze sehr häufig. Ueber ihre Bedeutung wird man sich aber erst an Längsschnitten klar. Fig. 2 zeigt ihrer mehrere. Danach stellt sich der Axencylinder als ein vielfach gebogener, eingedrehter Strang von sehr ungleichmässiger Dicke, besetzt mit Excrescenzen von allen erdenklichen Formen, dar. An anderen Stellen erscheint er geradezu als eine Aufeinanderfolge quergestellter, unregelmässiger Platten, die auf einen der Länge nach verlaufenden Faden aufgereiht sind. Die Mannigfaltigkeit der Formen, welche nach Erhärtung in Chrompräparaten der Axencylinder auf dem Längsschnitt, sowie auf dem Querschnitt darbietet, ist geradezu unerschöpflich.

Ein ganz anderes Aussehen zeigen nun Präparate vom Fischrückenmark, welches bloss in Alkohol gehärtet ist. Solche Präparate sind zwar meistens selbst nach der Färbung mit Carmin und der nachfolgenden Aufhellung recht unscheinbar, mitunter aber, ohne dass ich gerade anzugeben vermöchte, unter welchen besonderen Umständen, liefern sie ganz prachtvolle Bilder. In diesen (s. Fig. 3,

welche eine einem Theil der Fig. 1 analoge Stelle des Karpfenrückenmarkes bei derselben Vergrösserung wiedergibt) stellt sich der Axencylinder auf dem Querschnitt als eine breite, kreisrunde oder rundliche oder polygonale Fläche von gleichmässig rosenrother Tinction dar. Dem entspricht dann im Längsschnitt das Bild eines rosafarbenen, regelmässigen Streifens von beträchtlicher Breite (Fig. 4).

Darüber, ob man das Chromsäurebild oder das Alkoholbild für den richtigeren Ausdruck der physiologischen Verhältnisse anzusehen habe, bleibt man nicht lange im Zweifel. Die letzten Scrupel in dieser Hinsicht behebt der Anblick der ganz frischen, in Ueberosmiumsäure präparirten Rückenmarksfasern und die Betrachtung von Querschnitten, die man, so gut es eben angeht, nicht eingebetteten Rückenmarken entnimmt, welche frisch in eine Ueberosmiumsäurelösung von 1 : 1000 gelegt wurden und im Verlauf von 24—48 Stunden darin erhärteten. Fig. 5 zeigt ein Stück eines solchen Querschnittes, welches, wie man sieht, mutatis mutandis, mit dem in Fig. 3 vom Alkoholpräparat dargestellten, vollkommen übereinstimmt. (Davon, dass die Grenzlinie zwischen Schwarz und Weiss wirklich die Grenze zwischen Mark und Axe und nicht etwa die Grenze der Einwirkung der Osmiumsäure auf das Mark bezeichnet, habe ich mich durch nachträgliche Imbibition solcher Präparate in Carmin überzeugt. Es färbte sich immer das ganze vom schwarzen Ring eingerahmte Areal gleichmässig rosaroth, nie blieb nach innen vom schwarzen Ring ein ungefärbter stehen.) Sehr schöne Bilder erhält man auch von peripherischen Nerven, die, wie oben beschrieben, in Osmium gehärtet sind. Sie lassen sich allerdings nur schwer schneiden auf gelungenen dünnen Schnitten aber erkennt man sofort die bedeutende Dicke und regelmässig cylindrische Form der Axencylinder.

Der Querschnitt eines Froschischiadicus z. B. zeigt ein sehr schönes Mosaik von lauter schmalen, schwarzen Ringen, durch spärliche, helle Zwischenräume auseinandergehalten und grosse, helle, eigenthümlich glänzende Kreisflächen einschliessend. Ich habe mich dann überzeugt, dass nachträgliche Härtung und Einbettung der frisch mit Osmium behandelten Nervengebilde an dem mikroskopischen Bilde nichts Wesentliches mehr ändert, den Geweben aber die Bröcklichkeit grösstentheils benimmt, welche der Herstellung dünner Schnitte solche Schwierigkeiten entgegenstellt. Sehr empfehlen lässt sich diese Methode für Solche, welche Zählungen von Nervenfasern vornehmen.

Es muss ausdrücklich bemerkt werden, dass Alles, was hier über das Verhalten des Axencylinders nach Behandlung mit verschiedenen Reagentien (die Ueberosmiumsäure ausgenommen) gesagt ist, nicht als Gesetz, sondern nur als Regel anzusehen ist, und zwar als eine Regel, von der die Ausnahmen gar nicht so selten sind, und sich bisher einer jeden Controle oder Begründung entzogen haben. Man bildet sich ein, zwei Rückenmarke gleich behandelt zu haben, und findet dann grosse Unterschiede im Aussehen der Nervendurchschnitte beider. Im Allgemeinen aber darf es wohl als Regel hingestellt werden, dass Chrom sehr dünne, unregelmässige, Alkohol dicke, gleichmässige Axencylinder macht.

Aus allem diesem folgt, dass der Axencylinder aus einer Substanz bestehen muss, die mit keiner der Substanzen, aus welchen die übrigen Formelemente des Körpers gemacht sind, übereinkommt. Denn weder das Protoplasma, noch das leimgebende Gewebe oder die verschiedenen Epithelialgebilde zeigen auch nur annähernd ein ähnliches Verhalten gegen jene Reagentien, wie die Axencylinder. Vor Allem ist es bemerkenswerth, dass kein einziges der übrigen Formelemente (wenn man es nicht geradezu an der Luft vertrocknen lässt) solchen Schwankungen in seiner Dicke unterworfen ist, je nach der ihm zu Theil gewordenen Behandlung, wie die Axencylinder, und dass die Einwirkung der einzelnen Reagentien auf die übrigen Gewebe viel regelmässiger, und keinen solchen scheinbar zufälligen Ausnahmen unterworfen ist. — Ich weiss keine andere Annahme über die natürliche Beschaffenheit des Axencylinders, aus der sich sein im Vorhergehenden geschildertes Verhalten gegen die verschiedenen Reagentien verstehen liesse, als die: dass der Axencylinder in der lebenden Faser flüssig ist, und dass die Axencylinderflüssigkeit gerinnbar und zwar in verschiedenen Formen gerinnbar ist, je nach den Umständen, unter welchen sie gerann. Solche Flüssigkeiten bilden im lebenden Thierleib z. B. das Blutplasma, das Muskelplasma. Wir haben den Axencylinder als voluminöses, homogenes, in Carmin sich rosa tingirendes Gebilde gesehen, so wie das bei einer nicht zu grossen Verdünnung in der Ruhe gerinnende Plasma. Unter anderen Verhältnissen nahm der Axencylinder die Gestalt eines feinen Fadens an, der Carmin viel stärker imbibirte, und manche Forscher eine fibrilläre Structur erkennen liess, gerade wie ein Fibringerinnsel, das sich allmälig von den Wänden des Gefässes zurückzieht und zu Fäden zusammenschrumpft, die eine deutlich faserige Structur haben. Endlich jene bizarren Formen, die der Axencylinder mitunter auf dem Längs-

schnitt zeigt, lassen sich vergleichen mit den Figuren des geschlagenen oder des in gewisse Lösungen eingegossenen Fibrins.

Ich will nicht behaupten, dass der erste Entdecker einer fibrillären Structur des Axencylinders solcher Täuschung unterlegen sei, aber das ist sicher, dass manche nachträgliche Bestätigung jener Behauptung sich auf nichts Anderes bezieht, als auf faserig gewordene Axencylinder, und dass sich ganz analoge Beobachtungen hätten an jeder Fibrinschnur anstellen lassen.

Das beim Gerinnen des Axencylinders ausgeschiedene Eiweiss kann, wie wir angenommen haben, entweder den ganzen Raum erfüllen, den früher die Flüssigkeit inne hatte, oder es kann sofort oder durch allmälige Zusammenziehung des Gerinnsels auf einen feinen Faden reducirt werden. Man kann sich nun fragen, wie es sich erkläre, dass man jenen Raum nicht zu sehen bekommt, der durch die plötzliche oder allmälige Retraction des Axencylinders zwischen diesem und der Markscheide sich bilden muss. Es handelt sich hierbei lediglich um das Verhalten jenes Serums, welches das Gerinnsel beim Schrumpfen aus sich auspresst; dieses Serum wird nämlich zunächst den fraglichen Raum ausfüllen. Um nun zu begreifen, dass das Mark im mikroskopischen Schnittpräparat dem Axencylinder (gerinnsel) eng anliegt, müsste man einen Anhaltspunkt haben für die Vorstellung, dass jene ausgepresste Flüssigkeit jedesmal das Mark durchtränke und dann mit diesem zusammen wieder hinreiche, den Raum von aussen her bis an die Oberfläche des Axenfadens zu erfüllen. Einen solchen Anhaltspunkt findet man aber in den unzweifelhaften, secundären Veränderungen, die am geronnenen Marke vor sich gehen. Die charakteristischen Myelingerinnungsformen sind sämmtlich, nach der der mikroskopischen Präparation vorhergehenden „Härtung“, in verschiedenen Flüssigkeiten, verschwunden, und haben einem völlig verschiedenen Bilde Platz gemacht: der lamellären Anordnung von concentrischen Cylindermänteln um den Axenfaden. Vergleichende Messungen am frischen, mit Myelinformen ausgestatteten Präparat und am Querschnittspräparat haben auch gezeigt, dass das Mark beim „Härten“ an Volum zugenommen hat in jenen Fällen, in denen der Axenfaden dünn ist, hingegen seine Dimensionen nahezu bewahrt hat, wenn der Axenfaden jene Ausdehnung und Gestalt hat, die dem wirklichen Axencylinder entspricht. Man bekommt übrigens auch mitunter ganz beträchtliche Spalten zwischen dem Axenfaden und der Markscheide zu sehen.

Ich habe in diesem Aufsatze keinerlei Literaturnachweise gegeben, und zwar aus folgendem Grunde. Was ich mitzutheilen hatte, liess sich kurz sagen. Weder die Sache noch der Leser hätten durch Hinweise auf andere Schriften, oder durch eine Kritik anderer Ansichten in dem Maasse gewonnen, in welchem die Ausdehnung des Aufsatzes gewachsen wäre. Aus demselben Grunde unterlasse ich es auch, meine Anschauungen auf die Erklärung der Bilder anzuwenden, die man vom Nerven nach den unzähligen für ihn empfohlenen Präparationsmethoden erhält.

Ich breche vielmehr hier ab und wiederhole nur noch das Resultat in wenigen Worten.

Der Axencylinder ist im Leben eine Flüssigkeitssäule, deren Volum weit mehr als die Hälfte des Volums der ganzen Faser beträgt.

Das Mark nimmt in der lebenden Nervenfaser höchstens den Raum ein, welchen in der eben abgestorbenen die Myelingerinnungen einnehmen.

Die Flüssigkeit, aus welcher der Axencylinder besteht, enthält eine sehr leicht, und unter verschiedenen Umständen in sehr verschiedener Art gerinnende Substanz.

Wien, im Juli 1874.

II.

Physiologisches.

A. Chemisches.

Modification der Gallenfarbstoffprobe.

(Aus dem Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1875. No. 34.)

Die ursprünglich von Gmelin herrührende Reaction auf Gallenfarbstoffe wird jetzt allgemein in der Weise ausgeführt, dass man statt untersalpetersäurehaltiger Salpetersäure reine, ausgekochte Salpetersäure zusetzt, die Flüssigkeiten mischt und dann auf den Boden des Probirgläschens vorsichtig eine Schichte concentrirter Schwefelsäure fliessen lässt (Brücke'sche Modification). So angestellt ist die Reaction deshalb besser, weil sie nicht gleichzeitig in der ganzen Flüssigkeit auftritt und nicht so rasch wieder verschwindet, sondern sich ganz allmälig von der Grenzschicht der beiden Flüssigkeiten nach oben fortpflanzt. Das sehr grosse specifische Gewicht der Schwefelsäure macht, dass sich die Flüssigkeiten viel langsamer mischen und man alle Farben, die sonst nacheinander auftreten, gleichzeitig übereinander stehen sieht.

Man kann sich das jedesmal unmittelbar vor der Reaction auszuführende Auskochen der Salpetersäure ersparen, ohne einen der Vortheile, welche die Brücke'sche Methode bietet, zu verlieren, wenn man auf die Anwendung freier Salpetersäure verzichtet und der zu untersuchenden Flüssigkeit statt ihrer eine concentrirte Lösung von salpetersaurem Natron (Chilisalpeter) zumischt. Das Salz wirkt auf die Gallenfarbstoffe gar nicht ein und man hat alle Musse, die concentrirte Schwefelsäure auf den Boden der Eprouvette nachfliessen zu lassen. Die Reaction tritt hier noch weniger stürmisch ein, als bei reiner Salpetersäure, verläuft noch langsamer und hält sich leicht $^1/_2$ Stunde und länger.

Die übrigens dieser modificirten Methode entschieden zukommende grössere Empfindlichkeit erklärt sich wahrscheinlich daraus, dass die

etwa auftretenden sehr kleinen Mengen der farbigen Körper bei gleichzeitiger Anwesenheit von viel freier Salpeter- und Untersalpetersäure zu rasch weiter oxydirt oder sonstwie zerstört werden und diese Säuren eben bei Anwendung von Salpeter nur sehr allmälig und schichtweise frei werden, während die über dem farbigen Ring stehende Flüssigkeit immer noch neutral oder fast neutral reagirt.

Wien, 29 Juni 1875.

Das Hämometer.*)

(Aus: Med. Jahrbücher der k. k. Gesell. der Aerzte in Wien. 1885.)

(Hierzu Tafel VIII.)

1. Einleitung.

Trotz der vielfältigen Bemühungen, welche in den letzten Jahren auf die Verbesserung der Methode zur Zählung der rothen Blutscheiben verwendet worden sind, und trotz der bemerkenswerthen Ausbildung, welche diese Methode in Folge jener Bemühungen nachgerade erreicht hat, und welche für die nächste Zukunft einen wesentlichen Fortschritt in der eingeschlagenen Richtung kaum erwarten lässt — scheint mir dennoch das Streben, die Blutuntersuchung überhaupt methodisch zu fördern, durchaus kein müssiges zu sein; und ich glaube, es lassen sich unsere physiologischen Einsichten in die stoffliche Beschaffenheit, und in die mannigfachen Verrichtungen des Blutes, und seiner einzelnen morphologischen Bestandtheile heutzutage schon klinisch besser verwerthen, als es den Anschein hat. Diese Ansicht, dass nämlich die Zählung der rothen Blutzellen nach einer oder der anderen von den vorhandenen Methoden noch bei Weitem keine vollständige, unseren physiologischen Kenntnissen entsprechende Untersuchung des Blutes vorstelle, beruht auf den folgenden Erwägungen:

Erstens ist die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Angaben unserer Apparate zur Zählung der rothen Blutkörperchen eine unzulängliche, — zweitens bezieht sich die Angabe dieser Apparate auf eine Beschaffenheit des Blutes, welche nicht die einzige, und auch nicht die am meisten maassgebende ist, für die Beurtheilung des physiologischen Werthes des Blutes.

Zur Begründung des ersten von diesen beiden Argumenten müsste eine Kritik der Fehlerquellen der betreffenden Methoden

*) Dieses Instrument wurde auch noch kurz beschrieben in Dinglers Journal CCLVIII. S. 503. (Exner).

vorgeführt werden, welche hier nicht am Platze wäre. Es kann um so leichter hievon abgesehen werden, als ja das zweite Argument für sich allein vollkommen ausreicht zur Begründung meiner Anschauung, und sich selbst ohne Schwierigkeit begründen lässt.

Den Werth des Blutes bemessen wir in erster Linie nach seinem Gehalte an Hämoglobin, da dieser Körper, durch seine Eigenschaften gegenüber dem Sauerstoff, dem Blute die Fähigkeit verleiht, die Organe des Körpers mit Sauerstoff zu versehen. Weder das Blutplasma, noch die farblosen Blutzellen enthalten Hämoglobin, sondern dieser Körper, welcher bekanntlich der rothe Farbstoff des Blutes ist, kommt nur in den rothen Blutzellen vor. Hiernach sollte man es für möglich halten, aus der Zahl der letzteren einen Schluss zu ziehen auf die Menge von Hämoglobin im Blute. In Wirklichkeit ist jedoch jeder solche Schluss durchaus unerlaubt; denn eine Verminderung im Hämoglobingehalt des Blutes zeigt sich nicht an durch eine Verminderung der Anzahl von rothen Zellen in der Volum-Einheit des Blutes, sondern sie drückt sich aus in einem geringeren Gehalte an Hämoglobin im einzelnen Blutkörperchen. Allerdings geht mit einer Verarmung der einzelnen rothen Blutzellen an Farbstoff fast ausnahmslos eine Verminderung ihrer Zahl Hand in Hand. Aber es besteht durchaus kein constantes Verhältniss zwischen diesen beiden Schwankungen, und man begegnet häufig genug Fällen von unzweifelhafter Verminderung des im Blute enthaltenen Hämoglobins bei denen die Abnahme der Anzahl von Blutzellen im Cubikmillimeter so gering ist, dass die vorhandene Zahl sich noch in der Nähe der unteren Grenze des normalen Zellgehaltes bewegt. Aber auch bei sehr starker Verarmung an Hämoglobin, wie eine solche, in der Chlorose vorkommt, entspricht die Abnahme der Blutkörperchenzahl keineswegs der Verminderung des Hämoglobingehaltes, sondern es zeigt sich, dass auch in jedem der übriggebliebenen Blutkörperchen nur ein geringer Bruchtheil von jenem Quantum Farbstoff enthalten ist, welches dem normalen Blutkörperchen zukommt. So z. B. findet man in Fällen von Chlorose, Anämie, Krebs-Cachexie u. s. w. die Zahl der rothen Blutkörperchen im Cubikmillimeter auf ein Drittel der Norm herabgesunken; die Hämoglobinmenge im Cubikmillimeter ist hierbei aber nicht auf ein Drittel herabgesunken, wie es sein müsste, wenn der Hämoglobingehalt der einzelnen Blutzellen ein unveränderter wäre, sondern es zeigt sich in diesen Fällen eine Abnahme des Hämoglobins im Cubikmillimeter bis auf $^1/_{15}$ der normalen Menge, so dass von den auf ein Drittel des Normalbestandes zusammengeschmolzenen rothen Blutkörperchen

jedes einzelne wieder nur $^1/_5$ der Hämoglobin-Quantität enthält, die einem gesunden rothen Blutkörperchen zukommt. Ich selbst habe vor einiger Zeit das Blut eines etwa 12jährigen Knaben untersucht, der eminent leukämisch war, und 14 Tage später an seiner Leukämie zu Grunde ging. Die Anzahl der „rothen" Blutzellen war in diesem Falle auf 2,225.000 im Cubikmillimeter, also etwa auf die Hälfte der Norm gesunken — die Verminderung des Hämoglobins war aber eine so grosse, dass das Blut gar nicht als solches zu erkennen war, sondern eine graue, schmutzig-trübe Flüssigkeit, etwa von dem Aussehen von Lehmwasser, darstellte.

Unter so bewandten Umständen ist es nicht zu verwundern dass eifrig nach einer Methode gesucht wird, welche gestattet, den, Hämoglobingehalt des Blutes zu eruiren. Drei Wege eröffnen sich, welche zu diesem Ziele zu führen versprechen.

Der eine von diesen ist eine quantitative Bestimmung des in einer gegebenen Menge Blutes enthaltenen Eisens. Diese Bestimmung erfordert eine erhebliche Menge von Blut, welches der Analyse unterzogen werden kann, viel Zeit und Sorgfalt, und die Behelfe eines wohleingerichteten chemischen Laboratoriums. Wegen aller dieser Umstände bleibt sie ausser Betracht, da, wo es sich um die Untersuchung am Krankenbette handelt.

Ein anderer Weg ist der der spectro-photometrischen Auswerthung des Hämoglobingehaltes. Bei physiologischen Untersuchungen ist diese, besonders durch Herrn Hüfner zu grosser Vollkommenheit ausgebildete Methode vielfach, und mit dem besten Erfolge angewendet worden — der allgemeinen Einführung in den ärztlichen Gebrauch steht, ausser dem nicht unerheblichen physikalischen Apparat, und ausser der besonderen Uebung, welche zu ihrer Durchführung erforderlich sind, auch noch der Umstand im Wege, dass auch für die Anwendung dieser Methode eine Quantität Blutes benöthigt wird, die nicht ohne Weiteres jedem Kranken entnommen werden kann.

Den dritten Weg zu dem Ziele der Hämoglobinbestimmung im Blute klinischer Objecte bilden die verschiedenen Abänderungen der colorimetrischen Methode, deren Grundlage eine so einfache ist, dass für die angedeutete Variation in der Anpassung an die vorliegende Aufgabe kaum ein Spielraum vorfindlich sein kann, ausser in der Wahl der Substanz, welche zur Vergleichung ihrer Farbe mit der des Blutes verwendet wird. Als Vergleichsfarbe wurde nun, in den bisher versuchten Anwendungen der colorimetrischen Methode zur Auswerthung des Hämoglobingehaltes von Blut, die Farbe einer

Hämoglobin-Lösung vom bekannten Titre, die sich in einem keilförmigen Hohlraume befand, ferner die Farbe von Pikro-Carmin (in wässriger Lösung, oder als Beimischung zu einer, bei gewöhnlicher Temperatur starren Gelatine), endlich die Farbe von kleinen, in Aquarellmanier bemalten Papierscheibchen empfohlen; doch eignet sich keine dieser Methoden zum wirklichen allgemeinen Gebrauche, wegen der Schwierigkeit und Unverlässlichkeit, welche dem Anfertigen der Vergleichsscala anhaftet, und wegen ihrer geringen Haltbarkeit. Gelegentlich der Mittheilungen über diese Versuche wurde öfters der Umstand beklagt, dass ein in seiner Gestalt, Transparenz und Färbung unveränderlicher Körper, z. B. ein rothes Glas, sich nicht finden lasse, dessen Farbe der einer Blutlösung hinreichend nahe stünde, um die Verwendung als Maassstab für eine colorimetrische Hämoglobinbestimmung zuzulassen.

II. Das Princip.

Der Apparat, welchen ich zum Behufe einer quantitativen Bestimmung des Hämoglobins im Blute construirt habe, und welchem ich den Namen „Hämometer" beilege, beruht auf der colorimetrischen Methode, und das ihm eigenthümliche Princip ergibt sich auf folgende Weise aus der Analyse der, in der Aufgabe enthaltenen Bedingungen. — Bisher war es — wie gesagt — nicht gelungen, irgend eine, in ihrer Gestalt und in ihrer Farbe unveränderliche — namentlich keine feste solche Substanz herzustellen, welche vollkommen durchsichtig, und zugleich in einer solchen Farben-Nuance gleichmässig in ihrer Masse gefärbt ist, dass sich zu jeder beliebig dicken Schichte einer beliebig verdünnten, wässerigen Blutlösung, eine Platte von solcher Dicke aus dieser Substanz finden liesse, dass diese in Helligkeit und in Farbe ganz dasselbe Aussehen hat, wie die Blutlösung; sodass man aus der erforderlichen Dicke einer solchen Platte, welche eben zur Herstellung dieses völlig identischen Aussehens nöthig ist, einen Schluss ziehen könnte: auf den Gehalt der Blutlösung an Hämoglobin, auf die „Concentration des Blutes".

Nun ist es mir aufgefallen, dass es allerdings gelingt, Platten rothen Glases zu finden, welche in ganz befriedigender Uebereinstimmung der Farbe sind, mit gewissen Blutlösungen in gewisser Dicke der Schichte, dass jedoch diese Uebereinstimmung aufhört, wenn eine n-mal so dicke Platte des rothen Glases mit einer n-mal so concentrirten Blutlösung verglichen wird, oder mit einer n-mal so dicken Schichte derselben Blutlösung. Vielmehr ist der Unter-

schied in der Farbe, der in solchen Fällen auftritt, so beträchtlich, dass eine Vergleichung der beiden Objecte auf die Helligkeit des von ihnen durchgelassenen Lichtes nicht mehr durchführbar ist.

Eine Untersuchung über den Grund dieser Erscheinung hat mir nun folgenden Umstand als Grund der bei verschiedenen Dicken der Schichten auftretenden Ungleichheit der Farbe ergeben:

Die Absorption des Lichtes durch den rothen Farbstoff des Blutes, welche die Erscheinung der sogenannten „Stokes'schen Streifen“ bedingt, nimmt, bei wachsender Dicke der Schichte der Lösung, in einem Verhältnisse zu, welches mit dem entsprechenden Verhältnisse bei der Absorption in dem sofort zu beschreibenden rothen Glase in so hohem Grade übereinstimmt, dass sich hiernach dieses Glas durch seine Farbe sehr zur Vergleichung mit der Farbe von Blutlösungen in allen erforderlichen Tiefen eignen würde. — Eine so günstige Beziehung existirt jedoch nicht mehr zwischen der Absorption im violetten Ende des Spectrums, welche verschieden tief gefärbte Blutlösungen veranlassen, und der entsprechenden Absorption durch verschieden dicke Schichten des erwähnten Glases. Erst Schichten der Blutlösung, und des Glases von solcher Dicke sind deshalb untereinander an Farbe hinreichend gleich, um eine reine Vergleichung ihrer Helligkeiten zuzulassen, dass in beiden Substanzen bereits eine vollständige Absorption allen violetten Lichtes stattfindet, welches in ihnen überhaupt absorbirt wird.

Diese theoretische Erkenntniss der Ursache, welche der Verwendbarkeit rother Gläser für unseren Zweck im Wege steht, hat mich aber auch in die Lage versetzt, durch ein eigenthümliches Verfahren dem störenden Moment auszuweichen, und einen brauchbaren Apparat zur colorimetrischen Blutfarbstoffbestimmung auf die Anwendung des rothen Glases zu begründen.

Man braucht nämlich blos die violetten Strahlen, gegen welche diese Substanzen ein ungleiches „Extinctionsverhältniss“ haben, aus dem weissen Lichte, welches zur Durchleuchtung beider Substanzen verwendet werden soll, von vornherein auszuscheiden, um ein Licht zu bekommen, welches in den verschiedenen Helligkeiten, die ihm nach der Durchstrahlung verschieden dicker Schichten von Blutlösung zukommen, ganz dieselbe Reihe von Farbeneindrücken in unserem Auge hervorbringt, welche es, unter sonst gleichen Umständen, nach dem Durchtritte durch verschieden dicke Platten des erwähnten Glases im Auge hervorbrächte. Da wir nun mit einem erheblichen Grade der Fähigkeit ausgestattet sind, ein Urtheil zu fällen, über Gleichheit oder Ungleichheit der Helligkeiten zweier

aneinander grenzender, farbiger Felder, wenn nur die Qualität der Farbe für beide Felder genau die gleiche ist, so wird durch die auf dem Ausschlusse der violetten Strahlen beruhende Herstellung einer merklichen Identität der Farbennuance: des in Wasser gelösten Blutfarbstoffes einerseits, der aus dem erwähnten Glase verfertigten Platten anderseits, im Principe ein Verfahren angebahnt, und die Construction eines Apparates ermöglicht, durch welche eine Kenntniss der Hämoglobin-Menge in der Volum-Einheit des Blutes gewonnen wird, auf Grund einer Vergleichung der Helligkeit des Lichtes, das von einer bestimmten Schichte des in dem Grade seiner Verdünnung bekannten Blutes durchgelassen wird, mit der Helligkeit des Lichtes, welches durch eine Schichte des Glases gegangen ist. An Stelle des Grades der Verdünnung des zu bewerthenden Blutes, und der Dicke der Schichte können andere Constanten festgelegt werden, behufs der Begrenzung der Blutmasse, welche als unveränderliche Grösse in immer gleicher Weise der Bestimmung zu unterziehen, das heisst: mit einem in derselben Nuance gefärbten, und ebenfalls vollkommen durchsichtigen Glase, und zwar in Bezug auf die Helligkeit zu vergleichen ist. Dieser Vergleich führt aber in seiner schliesslichen Form, also durch die Feststellung derjenigen Dicke des rothen Glases, in welcher der Anblick desselben sich in nichts, auch nicht mehr in der Helligkeit, von dem Anblick der Blutlösung unterscheidet, nur unter der Bedingung ohne Weiteres zur Kenntniss des Hämoglobingehaltes des untersuchten Blutes, dass eine Grösse, die sich auf das Vergleichsglas bezieht, und die ich dessen „Hämoglobin-Werth“ nenne, bekannt ist, und unter der ferneren Bedingung, dass eine Grösse, die sich auf die Blutlösung bezieht, und die ich deren „Farben-Verdünnung“ nenne, in einer fundamentalen Beziehung zum Hämoglobin-Werth des Glases steht. Die Farben-Verdünnung kann definirt werden, als die Ausbreitung des in der angenommenen Volum-Einheit des Blutes enthaltenen Farbstoffes auf eine gewisse, sich bei allen Messungen gleichbleibende Fläche. Da es für den Eindruck auf unser Auge gleichgiltig ist — bezüglich der Farbe und Intensität des Lichtes — ob die einzelnen farbigen Molekeln auf der (durchsichtigen) Fläche selbst, welche das Lichtbündel senkrecht schneidet, in gleichmässiger Vertheilung liegen, oder ob sie in dem cylindrischen Raume, welcher sich, senkrecht zu dieser Fläche, zwischen ihr und der Lichtquelle, oder zwischen ihr und dem Auge erstreckt, gleichmässig vertheilt sind, so ist ersichtlich, dass statt der oben genannten beiden Constanten: Concentration der Lösung, und Dicke

ihrer Schichte, die folgenden beiden Grössen mit demselben Effecte zu constanten gemacht werden können: Absolute Menge (Volum) des Blutes, und Grundfläche eines geraden Cylinders (beliebigen Grades), welcher mit dem zur Lösung dienenden Wasser bis zu beliebiger Höhe angefüllt werden kann. Der aus Wasser bestehende Cylinder, dessen obere und untere Fläche congruent sind, und bei der Messung übereinanderfallen, erscheint dem Auge hiebei in der Verticalprojection, also in Gestalt seiner Endflächen, und es kommt nur auf die, vom Wasserzusatz unabhängige Zahl von Hämoglobin-Molekeln, aber durchaus nicht auf die Menge Wasser an, welche zwischen beiden Endflächen enthalten ist, bezüglich der Farbe, in der diese Fläche, oder vielmehr das zusammenfallende Bild beider Flächen, dem Auge erscheint.

III. Das Verfahren.

Nachdem im Obigen die, meinem Verfahren zu Grunde liegenden, optischen und anderen Principien erörtert wurden, schreite ich jetzt zur Darstellung des Verfahrens selbst.

1. Man verschafft sich ein, den oben erörterten Verhältnissen der Farbe des durchgelassenen Lichtes entsprechendes, nicht etwa „überfangenes", sondern in seiner ganzen Substanz gleichmässig und möglichst schwach gefärbtes, rothes Glasstück von mindestens 12 Centimeter Länge, ungefähr 2·5 Ctm. Breite und 1 Ctm. Dicke. Speciell gelingt es, das sogenannte „echte Rubin-Glas", welches bekanntlich nach den verschiedensten Vorschriften, entweder noch mit sog. „Cassius'schem Goldpurpur", oder (unter Weglassung des Zinnsalzes) mit Goldchlorid allein, oder unter Zusatz von schwarzem Kobaltoxyd u. s. w. dargestellt wird, durch sehr vorsichtige Behandlung beim „Anlaufen" schwach genug für meinen Zweck zu färben, und sofort (in einer Zangenform) in eine Gestalt zu pressen, welche aus der Halbirung des oben beschriebenen Parallelepipeds durch eine lange Diagonalebene entstehen würde, also: in Form eines etwa 12 Ctm. langen, etwa 2·5 Ctm. breiten, und am dicken Ende 1 Ctm. starken Keiles. Diesen Keil lässt man vollkommen regelmässig und scharfkantig zuschleifen, wobei zum Behufe des Planschleifens der beiden grossen Flächen so vorzugehen ist, dass erst die eine grosse Fläche plan geschliffen wird, und nun der Keil mit dieser Fläche auf eine, ihr an Grösse gleiche, rechtwinklige, planparallele (nicht im strengsten Sinne!) Platte aus vollkommen farblosem Glase mittelst Canadabalsams aufgekittet wird. Nun wird die zweite grosse Fläche geschliffen, und zwar so, dass der resul-

tirende Keil aus Rubinglas rückwärts eine, von der Stärke der Färbung abhängige Dicke von 1·5—6 Mm., und vorne eine Dicke = 0 hat, also bis zur Unterlage aus weissem Glase herab, scharf zugeschliffen ist. Diese Unterlage wird dem Keil überhaupt gelassen, sie dient ihm zum Schutze, und erleichtert die Befestigung des Keiles in seiner Metallfassung, von welcher bei der Beschreibung des Apparates die Rede sein wird.

2. Man sprengt von einem gut runden Glasrohr (aus farblosem Glase) ein etwa $1^1/_2$ Ctm. langes Stück ab, dessen beide Ränder man auf einer dicken Glasplatte mit Schmirgel eben abschleift. Das Glasrohr soll einen Durchmesser im Lichten haben zwischen 15 Mm. und 20 Mm. Nun kittet man mit Glaskitt oder Canadabalsam das kurze Stück mit dem einen Rande auf die Mitte einer kleinen farblosen Glasplatte auf, und theilt die cylindrische Höhlung des so gebildeten Gefässes, durch Einkitten eines passend zugeschnittenen viereckigen, nicht über 0·5 Mm. dicken Glasplättchens, entsprechend einer der Diameterebenen des Cylinders, in zwei, je halbcylindrische Räume. Die Scheidewand kann etwas über den kreisförmigen Rand emporragen, und sie kann, ebenso wie die Aussenwand, statt aus Glas aus Blech bestehen.

Sowohl das Aufkitten des Cylinders, als auch das Einkitten der Scheidewand an dreien von ihren vier Rändern hat in saubersten Weise zu geschehen, so dass kein ausgetretener Kitt stehen gelassen wird.

3. Man wiederholt bei einer Anzahl vollkommen gesunder, kräftiger, im mittleren Lebensalter stehender Männer die folgende Procedur. Nachdem die Hände gut gewaschen sind — zuletzt ohne Seife! — sticht man in eine Fingerbeere, die man hält, ohne vorderhand einen Druck auf dieselbe auszuüben, mittelst einer kurzen, sicheren und raschen Bewegung eine reine Nadel oder Staarnadel, nicht allzuseicht, aber auch nicht tiefer, als 1·5 Mm. ein. Nachdem man die Nadel weggelegt, und das zur Blutaufnahme bestimmte Instrument ergriffen hat, presst man die angestochene Fingerbeere central vom Stich zusammen, worauf ein halbkugeliges, mässig grosses Tröpfchen Blutes austritt. Von diesem kann man einige Cubik-Millimeter entnehmen, entweder mittelst einer unten kegelförmig zugespitzten Capillarpipette, oder durch folgende, meinem Verfahren eigenthümliche Methode.

4. Auf ähnliche Weise, wie man sich von der Gleichförmigkeit des Calibers enger Glasröhren überzeugt, nämlich durch Verschieben eines Quecksilberfadens, misst man Strecken eines nicht zu dick-

wandigen Thermometerrohres von runder Lichtung ab, Strecken, die jedoch nicht unmittelbar an einander stossen dürfen, sondern zwischen denen je ein Zwischenstück von nicht weniger als 1 Ctm. Länge zu überspringen ist. Bei jeder Lage des Quecksilberfadens wird jedes seiner beiden Enden, unter sorgfältiger Vermeidung einer Parallaxe, aussen am Rohr, durch einen zarten Diamantstrich, oder durch ein kleinstes aufgeschmolzenes Siegellackfädchen, das sich noch nachträglich, corrigirend, schieben lässt, oder dergl., markirt. Dann wird entweder der Quecksilbertropfen genau abgewogen (wenn es sich um absolute Bestimmungen handelt), oder es wird sofort zum Zerschneiden des Rohres geschritten. In der Mitte eines jeden Zwischenstückes wird abgeschnitten, und dann wird jedes der Segmente so zugeschliffen, dass es mit zwei kegelförmigen Spitzen endigt, die in zwei Querebenen die Durchtrittsöffnung des Lumens (*a*, *a'* Fig. 4) tragen, welche um die zuerst ermittelte, und zwischen die Spitzen eines Zirkels genommene Länge des Abstandes der früher angebrachten, jetzt aber natürlich schon weggeschliffenen Marken, von einander entfernt sind. Auf diese Weise kann man leicht, und mit beträchtlicher Genauigkeit, eine grössere Anzahl „automatischer Blutpipetten" von gleichem Rauminhalt herstellen. Eine solche kurze Blutpipette, entweder an einem ihre Mitte umschlingenden, mit seinen beiden Enden zusammengewundenen, kurzen Silberdrähtchen (*b* Fig. 5), oder einfach in der Mitte mit einer Pincette angefasst, und mit einem ihrer Enden vorsichtig in den frisch ausgetretenen Bluttropfen eingetaucht, saugt sich durch die Wirkung der Capillarität von selbst genau voll Blut, vorausgesetzt, das keine zu grossen Dimensionen der Länge und des Durchmessers gewählt wurden, die sich übrigens aus anderen Gründen von selbst verbieten. Durch die Einrichtung dieser automatischen Mess-Capillaren ist somit auch die letzte messende oder zählende Operation aus den Händen des untersuchenden Arztes genommen, und in die des Constructeurs des Apparates verlegt!

5. Es folgt nun das Verfahren bei der Messung, welches identisch in seiner eigentlichen Procedur, und nur durch die Verwerthung der Resultate verschieden ist: von dem Verfahren bei der Aichung des Apparates, die zur Ausmittlung dient, entweder der Scala, welche einer gegebenen Sorte von (unter einander ganz gleichen) Keilen zugehört, oder der Dimensionen, welche den Keilen aus einer gewissen Glassorte gegeben werden müssen, damit eine bestimmte, an sich nicht veränderliche Scala ihre Bedeutung und Richtigkeit erlange, wenn sie auf diese Keile aufgetragen wird.

Da wir oben die Annahme gemacht haben, dass in gleicher Weise mit dem Blute einer Anzahl gesunder Männer verfahren werde, so wird die Reihe der erhaltenen Resultate zur letzteren Verwendung, das ist zur Aichung der Keile oder zur Bestimmung des „Hämoglobinwerthes“ des vorliegenden Rubinglases zu dienen haben.

6. Es wird also unter Verwendung des, später genauer zu beschreibenden Apparates folgendermaassen vorgegangen. Die beiden Hälften des oben sub 2. geschilderten, kleinen, cylindrischen Gefässes, werden bis zu einer beliebigen Höhe — zweckmässig ungefähr beide gleich hoch — mit reinem Wasser angefüllt (es braucht jedoch keineswegs destillirtes zu sein), und nun wird eines der, auf die eben sub 4. geschilderte Weise gewonnenen, und mit Blut gefüllten Messröhrchen, in die eine der beiden Abtheilungen des Gefässes, in das darin befindliche Wasser geworfen. Leichte, vorsichtige Bewegungen, die man dem Röhrchen unter dem Wasser ertheilt, beschleunigen den, auch ohne solche Nachhilfe in wenigen Minuten sich vollziehenden Vorgang der Auflösung des Blutes im Wasser (Zerstörung der Blutkörperchen, Lösung des in ihnen fixirt gewesenen Farbstoffes). Das Urtheil darüber, ob die Lösung vollständig erfolgt sei, oder noch nicht, kann nicht irre gehen. Ist die Auflösung vollzogen, so wird (mittelst des daran befindlichen Silberdrahtes, sonst mit einer dünnen Pincette) das Röhrchen aus dem Wasser entfernt, und behufs seiner Reinigung in ein bereit gehaltenes grösseres Gefäss (Trinkglas und dgl.) voll Wasser übertragen. Der Fehler, welcher von der, am Röhrchen haftenden Menge der Blutlösung herrührt, liegt weit unter der berücksichtigenswerthen Grössenordnung. Die Glasplatte, auf der das Gefäss aufgebaut ist, wird nun so auf den Tisch des Apparates (s. unten) gelegt, dass die Grundfläche des Gefässes genau mit dem kreisförmigen Loch des Tisches zusammenfällt, und dass die Hälfte des Gefässes, welche die Blutlösung enthält, genau über der Hälfte des Loches im Tische steht, welche vom rothen Glase bei der Durchsicht von oben, **nicht** ausgefüllt erscheint.

7. Der nun zu erwähnende Umstand ist, trotz seiner anscheinenden Einfachheit, doch ein so wesentliches, ja sogar das, den theoretischen Rückhalt der ganzen Methode in der Ausführung verwirklichende, Moment, dass ich ihn unter einer besonderen Nummer bespreche.

Es hat nämlich die nun folgende, eigentliche Einstellung des Apparates, weder bei Tageslicht, noch bei

elektrischer oder Petroleum-Beleuchtung, sondern bei dem Lichte von Kerzen, oder von Oel- oder Gaslampen zu geschehen. Der Grund dieser wichtigen Massregel ist oben auseinander gesetzt; er liegt in der Eliminirung der violetten Strahlen aus dem Vergleichslichte. Wollte man durchaus zur Untersuchung sich einer von den oben ausgeschlossenen Lichtquellen bedienen, so müsste der schädliche Antheil violetter Strahlen aus solchem Lichte durch eine, an passender Stelle in den Weg der Strahlen gesetzte, lichtgelbe Glasplatte entfernt werden. Doch ist das Arbeiten bei einer der genannten Lichtquellen, welche von vornherein ein an brechbaren Strahlen hinreichend armes Licht aussenden, vorzuziehen[1]).

8. Die Einstellung selbst besteht nun im Verschieben des rothen Glaskeiles unter der mit reinem Wasser gefüllten Hälfte des Gefässes, und im Aufsuchen jener Stellung des Keiles, bei welcher für den von oben herabblickenden, und die beiden halbkreisförmigen Felder, als welche die Hälften des Gefässes ihm erscheinen, mit einander vergleichenden Beobachter, jeder Unterschied im Anblicke derselben verschwunden ist, so dass er weder zu entscheiden vermag, welches die mit Blutlösung, und welches die mit Wasser gefüllte Hälfte des Troges ist, noch auch die eine Hälfte für heller oder dunkler zu erklären vermag, als die andere.

A. Handelt es sich um die Aichung des Keiles, so kann er vorderhand noch keine Scala tragen. Es wird vielmehr auf eine später genau zu bezeichnende Weise die Stelle des Keiles ersichtlich gemacht, durch eine auf ihr angebrachte Marke, an welcher er die Dicke hat, welche eine Schichte des vorliegenden Glases eben haben muss, um bei den gegebenen Verhältnissen dieselbe Färbung zu zeigen, wie die ein für allemal festgesetzte Volum-Einheit des (in diesem Falle normalen) Blutes, bei einer „Farbenverdünnung" auf die gleichfalls für alle Apparate gleich grosse Oberfläche, welche eben dem lichten Querschnitt des Halbgefässes entspricht. — Bei öfterer Ausführung dieses Verfahrens mit dem Blute verschiedener gesunder Individuen, wird man ein bemerkenswerthes Uebereinanderfallen der Marken an ein und demselben Keile erfahren, was soviel besagt, wie: dass der Begriff des „normalen

---

[1]) Bei Gelegenheit der unten folgenden Beschreibung des Apparates wird einer kleinen, demselben beizugebenden Oellampe, welche in jeder Hinsicht den Anforderungen des vorliegenden Zweckes entspricht, Erwähnung geschehen.

Hämoglobingehaltes“ ein palpabler, und durch die Einrichtung der Natur gerechtfertigter Begriff ist.

Zur Herstellung der Scala wird der so eruirte „Blutwerth“ des Glases in folgender Weise benützt: An die Stelle des Keiles, welche bei den verschiedenen Vergleichungen mit dem Blute gesunder Menschen, stets als die passende gefunden wurde, schreibt man die Zahl „100“ hin, welche bedeutet, dass ein Blut, das dieser Stelle des Keiles entspricht, 100 Percent, also den vollen Betrag der normalen Hämoglobinmenge enthält. Die Strecke von diesem Punkte des Keiles bis zu seinem scharfen Ende, an welchem er die Dicke Null besitzt, theilt man nun in 10 gleiche Theile ein, und schreibt an die einzelnen Theilpunkte die Zahlen 90, 80, 70 u. s. w. bis 0 hin. Von der zuerst eruirten Stelle aus, wird diese Eintheilung nun auch nach der anderen Seite, gegen das dicke Ende des Keiles zu, fortgeführt, und es werden die Zahlen: 110, 120 u. s. w. an die Theilstriche hingeschrieben. Da es jedoch, wie die Erfahrung gelehrt hat, keinen Sinn hat, die Theilung in dieser Richtung weiter, als bis zum Theilstriche 130, oder alleräussersten Falles bis 140 fortzusetzen, so wird man frühere Erfahrungen dahin ausnützen, dem Keile von vornherein solche Dimensionen zu ertheilen, dass die Stelle, welche die Zahl 100 trägt, ungefähr an die Grenze des dritten und des letzten Viertels der Länge des Keiles (von seiner Schneide an gezählt) fällt.

B. Verfügt man jedoch über einen Keil, welcher bereits eine, auf die eben geschilderte Weise zu Stande gekommene Eintheilung trägt, so kann man — und das ist der eigentliche Zweck, und die praktische Verwendung des ganzen Verfahrens — mit demselben den Gehalt eines zu untersuchenden Blutes an Hämoglobin feststellen, in Procenten des normalen Hämoglobin-Gehaltes, und die hiebei anzuwendende Procedur kann nach allem bisher gesagten nicht mehr zweifelhaft sein; auch wird diese Procedur bei der Beschreibung des Apparates noch ausführlich besprochen werden.

IV. Der Apparat.

Mit Zuhilfenahme der beifolgenden Zeichnungen, und im Anschlusse an das bisher über das Princip des Hämometers, und über das Verfahren mit demselben vorgebrachte, wird die Einrichtung des Apparates selbst ohne Schwierigkeit erfasst werden, insoferne es sich überhaupt noch um etwas anderes, als um die Angabe einiger Dimensionen handelt, und ausserdem um die Entscheidung

für diesen oder jenen der sich ganz von selbst darbietenden Wege zur Ausführung des oben geschilderten Verfahrens.

Aus einem in der Zeichnung Fig. 1 und 2 dargestellten Fuss *x*), der aus drei horizontalen eisernen Stäben besteht, die in der Form eines dreistrahligen Sternes angeordnet sind, und an den äusseren Enden zu je einer Standspitze abgebogen sind, und von denen sich zwei, bei der Einpackung in die Cassette, unter den dritten einschlagen lassen — erhebt sich die 7 Centimeter hohe, drehrunde, im verticalen Längsschnitt der Fig. 2 mit *s* bezeichnete, circa 15 Mm. dicke Messingsäule, an welcher alle übrigen Stücke fest oder beweglich angebracht sind. Zunächst kommt aus ihrer vom Operirenden abgewandten Seite, die wir die vordere nennen wollen, ein horizontal verlaufender, einige Millimeter dicker Messingdraht *r* hervor, an dessen freiem Ende das schräg gestellte Blech *k* (4 bis 5 Ctm. im Geviert) befestigt ist, welches mit seinen aufgestellten Rändern ein Lager bildet, zur Aufnahme einer Platte aus feinem weissem Gypse. Die vordere, ebene Fläche dieser Platte wird von dem zur Beobachtung verwendeten Lichte getroffen, und gibt bei der Besichtigung von oben (durch das runde Loch in der Tischplatte) die gleichmässig helle „weisse" Grundfläche für die Beobachtung ab.

Nahe ihrem oberen Ende ist die Säule *s* von vorne nach hinten horizontal durchbohrt von dem Stücke *e* der Triebaxe, welche auf der einen Seite durch die, bis zum Anstoss an die Hinterfläche der Säule *s* verlängerte Hülse des rändrirten Kopfes *f*, auf der anderen Seite durch einen, auf der Vorderfläche der Säule schleifenden Ansatz vor allem Schlottern in der Richtung ihrer eigenen Axe bewahrt ist. Zwischen die Zähne des Triebes *e* greifen die Zähne der circa 12 Ctm. langen Zahnstange *o* (Figg. 2 u. 4) ein. Diese bildet zugleich einen Theil des Falzes, in welchen der Glaskeil eingekittet ist, und zwar den verticalen Theil dieses Falzes; die beiden anderen Blätter des Falzes liegen horizontal. In den Zeichnungen ist die untere von diesen beiden Flanschen mit *d*, die obere mit *l* bezeichnet. Sie sind alle drei aus Messing angefertigt, je etwa 1 Ctm. breit, und die obere Fläche der oberen Flansche *l* ist besonders zugearbeitet, um die Blutscala deutlich sichtbar zu machen, welche auf dieser Fläche aufgetragen ist, und deren Nummern man durch den schmalen (7 Mm.) aber hinreichend langen (20 Mm.) Schlitz (*l*) der Tischplatte an einer, die eigentliche Ablesung vermittelnden Marke (in der Mitte des abgeschrägten Schlitzrandes) beim Verschieben des Keiles (mittelst Drehens von *f*) vorüber wandern sieht.

Man erkennt in der Zeichnung den Querschnitt des rothen Keiles (*h*) und den der weissen Platte (*i*), welche durch Canadabalsam unter einander verbunden, und durch einen Kitt mit dem einen langen Rand in den Falz *d o l* eingekittet sind. Die Hauptführung des Keiles findet zwischen der Unterfläche der Tischplatte *a*, und der, an letzerer befestigten Coulisse *g* einerseits, und dem Trieb *e* anderseits statt. Der dem, in den Falz eingekitteten Rande, gegenüberliegende Rand des Keiles muss natürlich möglichst genau zugearbeitet sein, und an ihm ist keinerlei Fassung anzubringen. Da nun viel darauf ankommt, dass eben dieser Rand des Keiles ohne Schwankungen, und überhaupt möglichst vollkommen sich bewege, so muss die Gradführung des Keiles durch den freien Rand irgendwie unterstützt werden; und die Art, wie dies am Apparate geschieht, ist durch die Figg. 2, 3, ersichtlich gemacht. Die beiden Stücke *g g* sind durch je zwei Schrauben, von unten her, zu beiden Seiten des Loches *m* an die Platte angehalten, und verhüten durch ihre Gestalt sowohl Schwankungen des freien Randes in seiner Ebene, als auch Schwankungen dieser Ebene selbst. Sie sind aus Hartgummi gefertigt, und an den Gleitflächen mit einer Lage feinen Tuches bezogen.

Die Tischplatte *a* ist aus 2 Mm. starkem Messingblech angefertigt, an der oberen Fläche geschwärzt, von dem Schlitz *l*, und von dem kreisrunden Loch *m* durchbohrt. An ihrer besonderen Gestalt u. s. w. ist wenig gelegen. Zu beiden Seiten von *m* befinden sich noch zwei kleine runde Durchbohrungen, behufs der Anbringung von zwei Klemmfedern, die dazu bestimmt sind, die Glasplatte *c* und mit ihr das Gefäss $b\,b_{,}$ in solcher Lage auf dem Tische zu befestigen, dass die Scheidewand $b_{,}$ von oben gesehen, mit dem freien Rande des Keiles genau zusammenfällt.

Die Gestalt des Glasgefässes $b\,b_{,}$ ist aus der Beschreibung, und aus der Zeichnung vollkommen verständlich. Es wäre bloss noch zu bemerken, dass die Menisci, welche wässrige Flüssigkeiten an Glaswänden, die sie benetzen, bilden, den Streifen, welcher bei der Beobachtung mit diesem Apparate die beiden Halbkreise von einander trennt, einigermaassen verbreitern. Dieser Umstand ist an sich nicht so störend, dass er die Vergleichung erheblich schwieriger oder ungenauer machen würde; doch lässt er sich auch ganz beseitigen, indem man die grade Scheidewand $b_{,}$ mit ihrem oberen Rande etwas über der Ebene des freien Randes des cylindrischen Antheiles von *b* aufhören lässt. Füllt man nun vorsichtig beide Hälften des Gefässes so mit Wasser an, dass der Spiegel eben in

das Niveau des Gefässrandes zu liegen kommt, so kann man dann leicht von jeder der beiden Seiten her ein dünnes Deckgläschen, so wie sie zum Mikroskopiren verwendet werden, über die Flüssigkeit herschieben, bis es mit seinem geraden Rande an die eine Seite der Scheidewand *b*, anliegt. Die hiebei verlorene Flüssigkeitsmenge ist natürlich nur auf der Seite der Blutlösung von Belang — sie lässt sich, bei einigermaassen geschicktem Manipuliren, auf ein Minimum reduciren.

Neben Fig. 1 ist eine der automatischen Blutpipetten im Längsschnitt abgebildet in Fig. 5.

Wie ein Oellämpchen beschaffen sei, welches bestimmt ist, das Vergleichslicht für das Arbeiten mit dem Hämometer zu liefern, wird wohl ohne Abbildung leicht verständlich sein. Dasselbe ist so niedrig gebaut, dass die Flamme nur wenige Zoll über der Standfläche sich befindet, und besitzt einen Blechschirm, welcher das Licht nur auf die Gypsfläche des Apparates fallen lässt, und von den höher gelegenen Theilen des Apparates, so wie vom Beschauer abblendet.

Fig. 6 stellt den, durch die Scheidewand *m n* in zwei Hälften getheilten, mehrfach erwähnten Trog dar, dessen eine Hälfte mit der Lösung des zu untersuchenden Blutes gefüllt ist, während unter der anderen, mit Wasser gefüllten Hälfte der rothe Glaskeil verschiebbar angebracht ist — und zwar stellt die Fig. 6 den Trog so dar, wie er bei der Verwendung des Apparates dem Beobachter erscheint, der von oben senkrecht auf ihn herunterblickt; und es soll durch diese Figur die Art versinnlicht werden, auf welche ich das Urtheil bei der Einstellung zu erleichtern und zu präcisiren hoffe.

Das von der Peripherie der Cylinderbasis umschriebene kreisförmige Gesichtsfeld, welches durch die Scheidewand *m n* in zwei Hälften getheilt ist, wird durch die beiden, auf *m n* senkrechten Linien *a b* und *c d* in sechs Theile zerlegt, welche hier in der Figur (aber nicht in Wirklichkeit) mit den ersten sechs Ziffern bezeichnet sind. Die Linien *a b* und *c d* erscheinen bei der Ansicht von oben als zarte schwarze Striche — sie sind von der Unterfläche her der Glasplatte, die den Boden des Troges bildet, eingeschliffen, und die Furchen sind dann wieder mit schwarzem Siegellack oder einer ähnlichen Masse ausgefüllt.

Die Unterstützung des Urtheiles, die ich von der Anbringung dieser Linien erwarte, liegt darin, dass für den Fall der richtigen Einstellung des Glaskeiles, dessen scharfes Ende rechts von der Figur, jenseits *m* vorausgesetzt wird, und der sich unter den Feldern

2, 4, 6 befindet, nicht nur die Felder 3 und 4 in der gleichen Helligkeit erscheinen sollen, sondern auch erkennbar sein soll, dass das Feld 2 dunkler als das Feld 1, und dass das Feld 6 heller, als das Feld 5 ist. —

Vorläufige Versuche, welche ich mit dem Hämometer angestellt habe, haben das Resultat ergeben, dass — selbst ohne die Unterstützung durch das zuletzt erwähnte Hilfsmittel — das Urtheil über die richtige Einstellung ein so sicheres ist, dass die Schwankungen desselben innerhalb der äussersten Grenzen, die von mehreren in diesem Verfahren gänzlich ungeübten Personen bei demselben Blute erreicht wurden, bei weitem nicht $10^0/_0$ des normalen Hämoglobingehaltes betrugen; ja dass sie in den seltensten Fällen die Grösse von $1^0/_0$ erreichten. Da nun die Eintheilung auf der Fassung des Keiles nur von zehn zu zehn Procent fortschreitet, so ist der Fall wohl als ausgeschlossen zu betrachten, dass zwei Einstellungen an demselben Blute um ein ganzes Intervall dieser Scala von einander differiren. Auf der anderen Seite scheint mir aber für den klinischen Gebrauch, für welchen das Hämometer zunächst bestimmt ist, dieser Grad von Genauigkeit ganz ausreichend zu sein. Denn so wichtig es dem Arzte sein muss, zu erfahren, ob sein Patient einen normalen Hämoglobingehalt seines Blutes besitze, oder ob er nur 90 oder $80^0/_0$ von dem nöthigen Blutfarbstoff in seinem Blute habe: so gleichgiltig dürfte es für ihn in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle sein, sowohl bezüglich der Diagnose, als auch in Hinsicht auf die Prognose, oder auf die einzuschlagende Therapie, ob er von dem Patienten weiss, dass dieser $98^0/_0$ oder dass er $96^0/_0$, ob er $46^0/_0$ oder $42^0/_0$ von dem normalen Hämoglobingehalte besitzt.

Derjenige, dem die directen Angaben des Hämometers nicht fein genug ausgedrückt scheinen durch die Zehner der Procentscala, das ist: durch die Bezifferung der ersten Stelle rechts vom Punkte eines Decimalbruches, der den normalen Zustand repräsentirt, wenn sein Werth der Einheit gleich ist, dem wird bei so feiner Ausbildung seines Augenmaasses hinsichtlich der Unterscheidung, Vergleichung und Abschätzung von Helligkeiten, gewiss nicht jene Fähigkeit des Augenmaasses fehlen, die zum Abschätzen von zwei so kurzen Strecken in dem Verhältnisse von Zehnteln ihrer Summe nöthig ist, und ein Solcher wird eben durch Schätzung der Entfernung des Indexstriches von den nächstgelegenen Scalentheilstrichen in Zehnteln des Intervalles der Scala mit Leichtigkeit die Bewerthung der zweiten Decimalstelle, oder mit anderen Worten, die Concentrations-Bestimmung in einzelnen

Procenten durchzuführen vermögen. Uebrigens kann auch ohne Schwierigkeit nachträglich eine Unterabtheilung der Intervalle der Scala von 5 zu 5 Procent, oder in einzelne Procente vorgenommen werden. Ich wollte dadurch, dass ich auf die Anbringung einer feineren Theilung, als die in ganze Procent-Decaden ist, verzichtete, die Verantwortung ablehnen für die Verlässlichkeit von Bestimmungen, die eine grössere Genauigkeit beanspruchen. Für die Richtigkeit der Angaben meines Hämometers innerhalb der durch die Scala direct angezeigten Grenzen der Genauigkeit kann ich aber bürgen — vorausgesetzt eine in jeder Beziehung den oben gegebenen Vorschriften gemässe Herstellungs- und Verwendungsweise des Instrumentes.

Auf letztere habe ich der Natur der Sache nach weiter keinen Einfluss, die Herstellung der Instrumente jedoch kann ich vermöge der Verfügung, welche ich über mein österreichisch-ungarisches Patent getroffen habe, in jeder mir passend scheinenden Weise, überwachen und beeinflussen.

Das mein Hämometer betreffende Patent für unsere Monarchie wird von dem hiesigen Präcisions-Optiker und Mechaniker, Herrn Carl Reichert[1]), ausgeführt; und da die Vereinbarungen mit diesem Constructeur, sowie mit der Leitung der Glasfabrik, in welcher die Keile aus Rubinglas verfertigt werden, von der Art sind, dass einerseits mein Urtheil über die Gleichmässigkeit der Tinction aller Keile eines Gusses — anderseits mein Urtheil über die Gestalt, welche den Keilen beim Schleifen zu ertheilen ist, über die Vorgänge bei der Ermittlung des Fundamental-Abstandes, und bei der Anbringung der Scala, endlich über die Uebereinstimmung der anderen festgelegten Grössen am Apparate mit der Vorschrift, von maassgebendem Einflusse ist, so bin ich in der Lage, vorderhand die von dieser Quelle herstammenden Hämometer als verlässlich und vertrauenswürdig zu bezeichnen.

---

[1]) Wien, VIII. Bennogasse 26.

Erklärung der Figuren auf der Tafel VIII.

Fig. 1. Perspectivische Ansicht des Hämometers.
Fig. 2. Längsschnitt durch das Hämometer.
Fig. 3. Ansicht des Hämometers von unten.
Fig. 4. Ansicht des Hämometers von vorn.

In diesen Figuren bedeutet:

a die Tischplatte,
b die Aussenwand des cylindrischen Gefässes,
b_1 die Scheidewand des cylindrischen Gefässes,
c die gläserne Grundplatte desselben,
d die untere Flansche der Keilfassung,
e den Trieb für die Bewegung des Keiles,
f die Handscheibe für die Bewegung des Keiles,
g die Führungen für den freien Keilrand,
h den Keil,
i dessen gläserne, farblose Unterlage,
k die Gypsfläche des Reflectors,
l die durch das Fenster sichtbare obere Flansche der Keilfassung, welche die Scala trägt,
m die kreisförmige Durchbohrung der Tischplatte,
o die verticale Flansche der Keilfassung mit der Zahnstange,
r den Träger des Reflectors,
s die Säule des Stativs,
x den Fuss des Stativs.

Fig. 5. Die Blutpipette.
Fig. 6 ist im Text erklärt.

Regeln für den Gebrauch des Hämometers.

(Aus den Medizinischen Jahrbüchern 1886. Herausgegeben von der k. k. Gesellschaft der Aerzte in Wien.)

1. Das Hämometer[1]) darf weder bei Tageslicht, noch bei elektrischem Lichte verwendet werden, sondern nur bei dem Lichte von Oel-Lampen, Kerzen- und Gasflammen.

2. Jede Blut-Untersuchung mit dem Hämometer hat aus folgenden drei Acten zu bestehen: *A)* Die Gewinnung und Abmessung des Blutes, *B)* die Auflösung des Blutes in Wasser, und Einfüllung der Lösung in das Instrument, *C)* die Einstellung des Instrumentes, und Ablesung des Resultates.

A.[2])

3. Das Blut wird am besten aus der Haut der Fingerbeere des linken Mittelfingers entnommen.

4. Nachdem die Haut gewaschen und sorgfältig abgetrocknet ist, wird sie — ohne vorläufige Compression oder Einschnürung des Fingers — durch einen seichten Einstich mit einer Lanzennadel verwundet.

5. Hierauf wird durch einen ganz sanften Druck oberhalb der kleinen Wunde ein Tropfen Blut aus dieser vorquellen gemacht.

6. In diesen Bluttropfen wird die „automatische Blutpipette“, nämlich ein etwa 8 Millim. langes, in der Mitte von einem Drähtchen umfasstes Capillarrohr von bestimmtem Inhalte ($6^1/_2$ Cubik-Millim.) mit dem einen seiner beiden offenen Enden eingetaucht; und zwar wird

---

[1]) Siehe: Wiener med. Jahrbücher 1885, pag. 425—445. Das Hämometer.

[2]) Die unter Lit. *B)* Nr. 11 und 12 geschilderten Proceduren gehen diesen hier zeitlich voran.

7. Die vollständige Anfüllung dieser „automatischen Blutpipette“ erheblich erleichtert und beschleunigt, wenn man sie nicht lothrecht sondern wagrecht hält, sie also von der Seite her in den Bluttropfen eintaucht.

8. Da jede Spur Blutes, welche dem Röhrchen aussen anhaftet als bedenkliche Fehlerquelle zu betrachten ist, so empfiehlt es sich, dafür zu sorgen, dass die Aussenfläche der Blutpipette stets eine fettige Beschaffenheit habe. Dies wird am einfachsten dadurch erreicht, dass man jede Blutpipette in einem kleinen mit etwas Talg eingefetteten Lederläppchen verwahrt.

9. Sogleich nach beendigter Anfüllung der Pipette ist dieselbe an ihrer ganzen Oberfläche genau zu besichtigen, und wenn ein Fleckchen oder Tröpfchen Blut sich darauf entdecken lässt, ist selbes schleunigst, noch ehe es Zeit zum Eintrocknen hatte, durch einen Streifen Filtrirpapier, oder ein aus Bruns'scher Watte gedrehtes Röllchen wegzuschaffen. Auch dieser Vorgang wird durch die dünne Fettschichte, die das Röhrchen aussen überzieht, insoferne unterstützt, als sich das Blut von einer nicht fetten Glasfläche nicht so leicht, und bei weitem nicht so vollständig absaugen lässt, wie von einer mit Fett bedeckten.

10. Bei der sub 9 erwähnten Besichtigung ist auch darauf zu achten, dass die Blutsäule an beiden Enden in der gleichen Ebene mit der Glasröhre zu endigen hat, und zwar weder mit eingezogenen, noch mit ausgebauchten Endflächen, sondern mit Ebenen. Kommt man in die Lage, an der gefüllten Pipette aussen mit Filtrirpapier oder Watte zu manipuliren, so hüte man sich mit diesen Substanzen vor allzu grosser Annäherung an die Enden der Blutsäule.

B.

11. Schon bevor man begann, die sub A. geschilderten Manipulationen durchzuführen, hat man die einzelnen Bestandtheile des Hämometers aus dem Kästchen, worin sie aufbewahrt sind, herausgeholt, sich von der Sauberkeit, der Abwesenheit von Staub, kurz: von dem guten Stande des Apparates überzeugt, und ihn vorläufig aus seinen Bestandstücken zusammengesetzt; also den Rahmen, in welchem der rothe Glaskeil sitzt, in die Coulissen an der Unterseite der Tischplatte eingefügt, durch die er seine Führung erfährt; hat ferner das Vergleichsgefäss in die für selbes bestimmte Oeffnung in der Tischplatte eingesetzt, und so orientirt, dass die Projection der von oben betrachteten Scheidewand des Gefässes mit dem sicht-

baren Stück des darunter liegenden freien Keilrandes zusammenfällt, und ferner

12. die beiden Hälften des Vergleichsgefässes folgendermaassen mit destillirtem Wasser, oder mit reinem Brunnenwasser beschickt. Die über dem Keil befindliche Hälfte — wir wollen sie von nun an „Keilhälfte“ nennen — wird aus der beigegebenen gläsernen Pipette ganz mit Wasser gefüllt, so dass der Spiegel, den selbes oben bildet, vollkommen eben ist — weder einen positiven noch einen negativen Meniscus bildet. Die andere — die „Bluthälfte“ — wird ebenfalls mit Wasser aus der Pipette beschickt, aber nur etwa zum fünften, höchstens zum vierten Theile angefüllt. Ist diess geschehen, so legt man die Pipette, aus der man das Gefäss gefüllt hat, und welche noch reichlich genug Wasser enthält, um die Bluthälfte damit ganz aufzufüllen, in bequemer Reichweite horizontal hin, z. B. über den oberen Rand eines Trinkglases, so dass das Wasser nicht aus ihr herausfliesst.

13. Ist diess Alles vorbereitet, und hat man hierauf nach den sub A. gegebenen Vorschriften die Blutpipette mit dem zu untersuchenden Blute angefüllt, so bringt man sie (in horizontaler Lage) unter das Wasser in der Bluthälfte des Vergleichsgefässes, wonach man das Drähtchen an den oberen Rand des Gefässes anlehnt, aber nicht an den geraden Rand der Scheidewand, noch auch in eine der beiden Ecken an dessen Enden, sondern an den Halbirungspunkt des bogenförmigen Randes der Bluthälfte. Auf diese Weise kommt das Röhrchen mit dem Blute in die Mitte der geradlinigen Kehlung zu liegen, an der die Scheidewand unten an den Boden des Gefässes anstösst.

14. Doch lässt man zunächst die Blutpipette nicht ruhig in dieser Lage unter Wasser, sondern man ertheilt ihr vielmehr durch zweckmässige Führung des Drähtchens, an dem sie befestigt ist, sanfte Bewegungen, indem man das Röhrchen längs seiner eigenen Axe hin- und herführt, soweit es eben die Dimensionen gestatten, und es solchermaassen über seinen flüssigen Inhalt bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung hinüber- und hinausschiebt. Man begreift leicht, dass solche Bewegungen sehr geeignet sind, eine rasche Mischung des Inhaltes des Röhrchens mit der dasselbe umgebenden Flüssigkeit zu veranlassen. Ferner aber sieht man auch ein, von welcher Wichtigkeit es ist, vom Momente der Blutentnahme an, bei den folgenden Proceduren keine Zeit zu verschwenden, sondern vielmehr Alles so rasch zu besorgen, als es eben möglich ist, ohne dass die Sorgfalt und Genauigkeit der Ausführung unter

der Eile zu leiden beginnen. Uebrigens bezieht sich die Mahnung, nicht langsamer als nöthig zu arbeiten, bloss auf die unter den Nummern 7, 9, 10, 14 geschilderten Handgriffe, die so leicht und einfach sind, dass auch der Ungeübte zu ihrer Ausführung nicht mehr Zeit brauchen wird, als höchstens eine Minute — und so viel Zeit darf verstreichen, ohne dass der Erfolg der Messung dadurch gefährdet wird.

15. Es kommt eben Alles darauf an, dass das Blut mit einer zu seiner Auflösung hinreichenden Menge Wassers gemischt werde, bevor es zu gerinnen anfängt. Nun wird sich das Blut in der Messcapillare um so schneller mit dem umgebenden Wasser mischen lassen, je kürzer und weiter die Capillare ist. Aber die Genauigkeit der Volumbestimmung des zur Messung verwendeten Blutes wird zunehmen mit wachsender Länge und Enge der Messcapillare. Eine gewisse Länge und Weite der Blutpipette wird die vortheilhafteste sein, indem sie bei hinlänglicher Genauigkeit der Volumbestimmung doch eine rasche Vermischung des Blutes mit Wasser zulässt.

Die Erfahrung, welche ich über diese Sache gemacht habe, veranlasst mich, vor dem Gebrauche von Blutpipetten — und mögen sie im Uebrigen noch so genau geaicht sein — zu warnen, wenn sie kürzer sind als 7 Mm., oder wenn sie länger sind als 10 Mm. Ferner müssen die Ränder der Blutpipette abgerundet, an der Flamme „abgelaufen" sein, doch darf keine der beiden Oeffnungen „eingezogen", verengt sein, da die Mischungsgeschwindigkeit sehr hierunter leiden würde.

16. Sowie die Hauptmasse des Inhaltes der Blutpipette in das Wasser ausgetreten ist, hebt man diese an ihrem Drähtchen aus dem Wasser heraus, und hält sie in verticaler Richtung so über selbem, dass die untere Oeffnung des Röhrchens in der Mitte der Bluthäfte des Vergleichsgefässes, einige Millimeter über der Oberfläche der darin befindlichen Flüssigkeit schwebt. Und nun ergreift man mit der anderen Hand die bereits mit Wasser gefüllte Tropfpipette (siehe Nr. 12), und lässt aus ihr Tropfen für Tropfen in das obere Ende der Blutcapillare eintreten. Dadurch wird nicht nur deren Inhalt bis auf die letzte Spur Blutes in das Vergleichsgefäss gespült, sondern auch die aussen an der Capillare haftenden Spuren Blutes, die aus dem Vergleichsgefäss mit herausgehoben worden waren, werden wieder in dieses zurückgewaschen.

17. Betrachtet man die vom unteren Ende der Messcapillare sich hierbei nacheinander ablösenden Tropfen, so wird man gewahr

werden, wie rasch ihre blutige Färbung verschwindet, und wie klar und farblos bereits der fünfte oder sechste solche Tropfen ist. Ebenso erweist sich das, einer sehr sorgfältigen Besichtigung zu unterziehende Messröhrchen innen und aussen völlig rein, spiegelnd glatt, und nur mit klarem Wasser gefüllt und benetzt. Man unterlasse nicht, sich auch noch von der Abwesenheit jeglichen Gerinnsels oder sonstigen Fremdkörpers an und zwischen den Windungen des Drähtchens zu überzeugen, mit denen dieses sich um die Blutpipette schlingt, und als deren Handhabe oder Stiel ihr anheftet. Erst wenn Alles sich sonach völlig blutfrei und rein erwiesen hat, darf die Blutpipette gänzlich aus dem Vergleichsgefäss entfernt werden.

18. Die Bluthälfte des Vergleichsgefässes soll, nach beendigter Ausspülung der Messröhre, nicht viel über die halbe Höhe, keinesfalls mehr als zu drei Viertheilen mit Flüssigkeit erfüllt sein (erstens um ein ausgiebiges Umrühren des Inhaltes zu ermöglichen, und zweitens, um später die Herstellung einer obersten Schichte reinen Wassers über der Blutlösung zuzulassen, die das Ueberfluthen der Scheidewand aus einem verderblichen zu einem gleichgültigen Ereignisse macht). Es muss nun die in der Bluthälfte befindliche Flüssigkeit sehr ausgiebig durcheinander gerührt werden, wozu man sich eines dünnen Drahtes bedient. In Ermangelung eines eigenen Drahtes kann man wohl auch das freie Ende der Handhabe der Blutpipette dazu verwenden, doch ist dabei die Schlinge, in die dieses Ende zurückgebogen ist, hinderlich, da sie ein Vordringen des Drahtes in die beiden Ecken am Boden des Gefässes nicht zulässt. Und gerade diese beiden Ecken, ferner die einspringenden Winkel zwischen dem Boden und den Wänden, sowie die, zwischen Scheidewand und Mantel des Halbcylinders sind die Lieblingsaufenthaltsorte von sehr concentrirten Theilen der Lösung, ja sogar von so wenig verdünnten Blutantheilen, dass noch keine vollständige Abgabe des Hämoglobins an das Wasser, und auch noch keine vollständige Zerstörung der Stromata der rothen Blutzellen stattgefunden hat, in Folge wovon die Flüssigkeit trübe aussieht. Diese Winkel und Ecken sind sonach beim Umrühren besonders zu berücksichtigen, und es ist letzteres so lange fortzusetzen, bis sich in der Flüssigkeit in der Bluthälfte des Gefässes weder eine Ungleichmässigkeit der Farbe, noch auch die geringste Trübung mehr erkennen lässt — im durchfallenden Lichte natürlich, da ja das Gefäss nach Nr. 11 bereits in das Instrument eingesetzt ist.

19. Wenn diess Alles soweit in Ordnung ist, so schreitet man zur Anfüllung der Bluthälfte des Vergleichsgefässes. Denn es lohnt die Mühe nicht, das Minimum dünner Blutlösung, das am Ende des Umrührdrahtes haften blieb, in das Gefäss zurückzuspülen. Man lässt also aus der Pipette reines Wasser zu der Blutlösung zutropfen mit der Vorsicht, die Flüssigkeit im Gefässe dabei so wenig wie möglich zu bewegen. Bei einiger Uebung und Geschicklichkeit wird man es sogar, behufs Erreichung des oben angedeuteten Zweckes, riskiren dürfen, die letzten Mengen Wassers nicht zutropfen, sondern zufliessen zu lassen, indem man die Spitze der Pipette ein wenig unter den Spiegel der Flüssigkeit eintaucht.

20. Die Bluthälfte soll — ebenso wie die Keilhälfte — genau bis zur Ebene des oberen Randes angefüllt sein, so dass keinerlei Meniscus besteht, sondern die Flüssigkeit in beiden Hälften einen gemeinsamen, absolut ebenen Spiegel hat. Nur in diesem Falle erscheint die Scheidewand in der Projection als parallel begrenzter, schwarzer Streifen von einer Breite, die der Dicke der Scheidewand entspricht. Hat die Flüssigkeit in der einen, oder der anderen, oder in beiden Hälften einen (positiven oder negativen) Meniscus, so erscheint der sie trennende Streifen verzerrt, nach der Mitte, oder nach beiden Enden hin verbreitert, durch feine, glänzend weisse, an den Verbreiterungen theilnehmende, seine Ränder begleitende Linien in mehrere Bänder zerlegt; und in analoger Weise wird das, von einem Meniscus bedeckte, halbkreisförmig begrenzte, farbige Feld in seinem äusseren, im Bogen verlaufenden Rande eine, mit einer Einschränkung der zum Vergleiche heranzuziehenden, farbigen Fläche einhergehende Verzerrung seiner Begrenzung erfahren, die, wenn auch in minderem Grade, doch immerhin noch merklich, gleich der Verzerrung, die das Bild der Scheidewand zufolge eines Meniscus erleidet, die Schärfe und Verlässlichkeit der schliesslichen Ablesung beeinträchtigt.

Das einfachste Mittel zur Vermeidung der, aus dem Vorhandensein von Menisken folgenden, sehr erheblichen Uebelstände ist die Anwendung des erforderlichen Maasses von Aufmerksamkeit und Sorgfalt auf die Herstellung eines vollkommen ebenen Flüssigkeitsspiegels in jeder der beiden Hälften des Gefässes. Mag man diese Aufgabe lästig finden — schwierig darf sie deshalb nicht genannt werden, weil die Verhältnisse es gestatten, sich von beiden Seiten dem Ziele zu nähern, und also eine Ueberschreitung des richtigen Maasses noch nichts verdirbt. Für die Keilhälfte ist diess selbstverständlich — für die Bluthälfte folgt es aus dem in Nr. 19 Gesagten.

Dass man bei einer nothwendig gewordenen Entziehung überschüssiger, einen positiven Meniscus bildender Flüssigkeit aus der Bluthälfte, mit der gleichen Sorgfalt vorzugehen habe, wie bei der Eintragung der letzten Antheile Wassers in diese Hälfte — also jede Strömung, die zur Mischung der obersten Schichten mit den tieferen führen könnte, zu vermeiden habe, versteht sich wohl auch von selbst. Man kann einen solchen Ueberschuss von Wasser entweder durch dünne Glascapillaren, oder durch Filtrirpapier absaugen — in beiden Fällen ein tiefes Eintauchen in das Wasser vermeidend. Schon unter Nr. 18 wurde auf die Unschädlichkeit des Ineinanderfliessens der beiden Wasserspiegel hingewiesen. Uebrigens ist die Benetzung und Ueberfluthung des oberen Randes der Scheidewand mit einiger Sicherheit ausgeschlossen, wenn man diesen Rand vorher eingefettet hat.

21. Ein zweites Mittel zur Eliminirung der Menisci setzt gleichfalls die Erfüllung der unter Nr. 19 gegebenen Vorschrift voraus. Es besteht darin, dass man vorerst absichtlich beide Hälften mit deutlichen, convexen Menisken versieht — oder im Falle des Ueberschwemmens der Scheidewand, der hier sehr wahrscheinlich ist, die ganze Oberfläche zu einem convexen Meniscus auffüllt, und dann ein Deckgläschen so über die Oeffnung des Gefässes legt, dass keine Luftblasen mit eingeschlossen werden, und ohne dass die obere Seite des Deckglases benetzt wird. Auch das Entstehen zu heftiger Strömungen beim Auflegen des Glases ist zu verweiden, ebenso wie man vernünftiger Weise die Richtung der zu gewärtigenden Strömung berücksichtigen wird.

22. Bei der Untersuchung menschlichen Blutes wird man wohl nur in äusserst seltenen Fällen, trotz der beträchtlichen Menge des beigemischten Wassers, eine nur unvollständige Auflösung der geformten Elemente eintreten, und in Folge davon eine gewisse Trübheit der Flüssigkeit sich erhalten sehen, so dass der Arzt bei der Ausübung seiner Berufsthätigkeit sich kaum jemals durch diesen Uebelstand in der Anwendung des Hämometers gestört finden dürfte. Hingegen muss man bei Untersuchungen mit dem Hämometer an Thieren, deren rothe Blutzellen Kerne führen, desto bestimmter auf eine unvollständige Lösung und persistirende Trübung im Blutwasser gefasst sein. In allen solchen Fällen leistet der von Herrn Leichtenstern empfohlene Zusatz einer minimalen Quantität kaustischen Alkalis vortreffliche Dienste. Eigentlich rühmt der genannte Forscher die Wirksamkeit der fixen Alkalien in fast verschwindender Dosis bei jenen Fällen von dauernder Trübung starker, wässeriger Diluirung

von menschlichem Blute, welche er auf pathologische, absolute, hochgradige Vermehrung der farblosen („weissen") Blutzellen, und auf deren grosse Widerstandskraft gegen die Einwirkung des Wassers zurückführt. — Ich kenne aus eigener Anschauung nur die aufhellende Wirkung seines Mittels auf Blutverdünnungen, deren Trübung von dem Widerstand der kernhaltigen, rothen Zellen gegen die Wirkung des Wassers herrührt. Die Fälle, für die Herr Leichtenstern sein Mittel anempfiehlt, sind nun freilich von den Fällen, bei welchen es mir treffliche Dienste leistete, ganz verschieden, und ich war noch nicht in der Lage, die von jenem Autor gerühmte, aufhellende Wirkung an den Verdünnungen leukämischen Menschenblutes zu beobachten. Doch ist diess durchaus kein Grund, der mich von der unbedingten Anempfehlung dieses Mittels in jenen, von Herrn Leichtenstern untersuchten Fällen dauernder Trübung abhalten kann, die sich, als Fälle von leukämisch verändertem Menschenblute, auch dem praktischen Arzte gelegentlich darbieten können. Es giebt eben Beziehungen von solcher Einfachheit und Eindeutigkeit, dass die Gewissheit, die ihnen die Behauptung eines verlässlichen Beobachters verleiht, nicht mehr gesteigert werden kann durch noch so zahlreiche Bestätigungen.

C.

23. Das Einstellen auf eine bestimmte Blutlösung ist eine mit so grosser Präcision lösbare Aufgabe, dass nach der übereinstimmenden Angabe aller, bisher über Erfahrungen verfügenden Collegen die verschiedenen Ablesungen einer und derselben oder mehrerer Personen an einer Blutprobe nie weiter, als um ein Procent auseinander liegen.

24. Der mattweisse Reflector werfe um so mehr Licht durch das Vergleichsgefäss, je tiefer die zu untersuchende Blutlösung gefärbt, und je dicker demnach die ihr an Farbe gleiche Stelle des Glaskeiles ist. Hat man es also voraussichtlich mit normalem Blut zu thun, so gebe man dem Reflector eine solche Stellung, dass er möglichst viel Licht auf die untere Fläche des Gefässes wirft. Bei solchen Untersuchungen jedoch, in denen dünnere Stellen des Keiles in Verwendung treten, muss man jene Stellung des Reflectors aufsuchen, die eine eben hinreichende Helligkeit der Beleuchtung liefert; denn es ist im Allgemeinen das Urtheil am Hämometer um so schärfer und genauer, bei je geringerer Helligkeit es gewonnen wird.

25. Das beobachtende Auge ist in deutliche Sehweite, senkrecht über das Vergleichsgefäss zu bringen — das andere Auge ist zu

schliessen. Recht sehr empfiehlt es sich, das beobachtende Auge mit dem Vergleichsgefäss durch ein, über letzteres gestülptes, auf der Tischplatte des Hämometers aufstehendes Rohr aus Papier oder Pappendeckel zu verbinden. Die Länge eines solchen Rohres ist nätürlich der deutlichen Sehweite des Beobachters anzupassen. Es kann nicht schaden, wenn die Innenfläche des Rohres geschwärzt ist.

26. Von grosser Wichtigkeit ist die Beachtung folgender Regel: Der Beobachter soll sich nicht in die Lage gegen das Hämometer verfügen, die man z. B. gegen ein Mikroskop einzunehmen pflegt, sondern er soll sich mit seinem Körper in der Fortsetzung der Ebene befinden, in welcher die Scheidewand des Vergleichsgefässes liegt. Die Folge davon ist: dass die Bilder der beiden, bezüglich ihrer Farbe und Helligkeit mit einander zu vergleichenden Halbkreise auf der Netzhaut neben einander liegen — nicht, wie im anderen Falle, über einander. Nun ist aber eine Helligkeitsvergleichung viel genauer ausführbar mit der rechten und linken Netzhauthälfte, als mit der oberen und unteren Netzhauthälfte. Und zwar aus folgendem Grunde: Die rechte und linke Hälfte der Netzhaut eines Auges sind — wenn man von den allerperiphersten Partien absieht, für die vielleicht ein Unterschied durch die Abbildung der Nasenwurzel auf der Schläfenseite der Retina eingeführt wird — im Allgemeinen während des ganzen Lebens in demselbem Maasse von Licht und Schatten betroffen, befinden sich also auf derselben Stufe der Blendung, und mithin der Lichtempfindlichkeit. Die obere und untere Netzhauthälfte hingegen sind während des ganzen Lebens in wesentlich verschiedenem Maasse der Einwirkung des Lichtes unterworfen, dadurch, dass das Bild des Firmamentes, welches doch im Allgemeinen den weitaus hellsten Theil des Gesichtsfeldes darstellen dürfte, stets auf die untere Hälfte der Retina fällt, wodurch diese im Vergleich mit der oberen Hälfte in einem höheren Grade von Blendung, also in einem Zustande verminderter Lichtempfindlichkeit erhalten wird.

27. Ferner hat der Beobachter darauf zu achten, dass nicht sein beobachtendes Auge von der Seite her von Strahlen der Lichtquelle, die zur Beleuchtung des Hämometers dient, getroffen werde, denn dadurch würde, zufolge der Durchleuchtung der Augenhäute, eine ähnliche Ungleichheit zwischen den beiden seitlichen Retinahälften verursacht werden, wie wir sie soeben für die über einander liegenden Hälften der Netzhaut vorgefunden haben.

28. Die eigentliche Einstellung besteht nun bekanntlich im Verschieben des Glaskeiles vermittelst der grossen, hinter der Säule befindlichen Handscheibe, bis jeder Unterschied im Aussehen der beiden Hälften des Vegleichsgefässes verschwunden ist. Dieses Verschieben geschieht nun — sobald man einmal in der Gegend der richtigen Einstellung angelangt ist — besser ruckweise, durch kleine, rasche Bewegungen, als stetig, durch langsame Bewegungen. Man verkleinert allmälig die Wege, um die der Keil nach beiden Seiten über die richtige Stellung hinausgeschoben wird, auf diese Art das Gebiet immer mehr einschränkend, innerhalb dessen das Urtheil schwankt, bis man sich zuletzt für eine bestimmte Einstellung entschieden hat.

29. Sowie es überhaupt rathsam ist, lieber oft, als lang in das Instrument zu schauen, so soll man auch, wenn man die richtige Einstellung getroffen zu haben meint, das Auge für eine kurze Weile abwenden — etweder schliessen, oder einer gleichmässig dunklen Fläche zuwenden — und dann die beiden Hälften des Gefässes abermals mit einander vergleichen, und für den Fall eines noch so leisen Zweifels abermals mit kleinen, ruckweisen Verschiebungen des Keiles die vollkommene Gleichheit beider Hälften aufsuchen, bis schliesslich durch eine weitere Fortsetzung der Beobachtung keine Veränderung des Urtheils — weder dem Inhalte, noch der Bestimmtheit nach — veranlasst wird.

Das Gefühl völliger Bestimmtheit und unbedingter Richtigkeit der getroffenen Wahl wird man in jedem einzelnen Falle gleichzeitig mit dem der vollen Beruhigung über die Hinlänglichkeit des angewandten Grades der Aufmerksamkeit und Sorgfalt eintreten sehen — nie vorher. Die Stimme des Gewissens, welche bei Hämometer-Messungen, wegen ihrer grossen Einfachheit, eine sehr vernehmliche ist, unterrichtet den Beobachter in jedem einzelnen Falle über das Maass von Vertrauen, dessen er sich und seine Beobachtung werth gemacht hat.

30. Nicht immer jedoch, wenn ein Beobachter nur ein zögerndes und schwankendes Urtheil zu fällen vermochte, ist ein Mangel an Gewissenhaftigkeit oder Aufmerksamkeit hierfür verantwortlich zu machen. Sondern es giebt Menschen, die, ohne gerade vollständig rothblind zu sein, doch eine für langwelliges Licht stark unterempfindliche Netzhaut haben, und solchen bietet das Einstellen am Hämometer nicht nur eigenthümliche Schwierigkeiten dar, und lässt sie zu keinem, sie selbst völlig befriedigenden Resultate gelangen, sondern nach den wenigen, hierauf bezüglichen Erfahrungen, die

bis jetzt verfügbar sind, scheint es, dass solche Menschen das Hämometer um ungefähr ein Viertel des richtigen Betrages zu gering einstellen — bei der Untersuchung normalen Blutes also auf ungefähr 75% einstellen. Ob für solche Individuen das Hämometer überhaupt verwendbar werden kann, und bis zu welchem Grade, und unter welchen besonderen Bedingungen dies der Fall ist, das sind Fragen, zu deren Beantwortung die vorliegenden Erfahrungen noch keine genügenden Anhaltspunkte bieten, und deren Erledigung somit von künftigen Untersuchungen zu erwarten ist. Doch möchte ich a priori folgende Vermuthung aussprechen. Für exquisit Rothblinde, deren Netzhäute eine sorgfältige und oftmals studirte, genau gekannte, und zwar in allen Fällen nach Art und Grad die gleiche Anomalie der Farbenempfindung bedingen — für sämmtliche mit einem, in so hohem Grade von Uebereinstimmung sich äussernden Functionsdefect des Farbensinnorganes Behaftete — mag voraussichtlich oder wenigstens muthmaasslich ein und derselbe (wie es scheint: unechte) Bruch Geltung haben, mit welchen die von ihnen, mit ihren rothblinden Augen eingestellten Hämometerprocentzahlen zu multipliciren sind, um in die entsprechenden Werthe, wie ein normales Auge sie unmittelbar eingestellt hätte, verwandelt zu werden. Ja, ich halte die Giltigkeit derselben Reihe von Reductionsquotienten für die Gesammtheit der Rothblinden sogar für viel wahrscheinlicher, als die Giltigkeit eines und desselben Quotienten für die ganze Erstreckung der Hämometerscala, wenn jede Ablesung, die ein Rothblinder in einer b e l i e b i g e n Gegend der Scala macht, stets durch diesen einen Quotienten in die entsprechende Ablesung eines normalen Auges soll umgewandelt werden. Die „Rothuntersichtigkeit“ hingegen scheint ein Functionsdefect des Farbensinnes zu sein, welcher in allen Graden zwischen der Norm und der totalen Rothblindheit vorkommt — und ich bin nicht einmal davon ganz überzeugt, dass in allen Fällen die Defecte sich auf dieselben Wellenlängen, oder in constantem Verhältniss über die im Defecte liegenden Wellenlängen erstrecken. Unter solchen Umständen ist, wie mir scheint, von vorherein äusserst wenig Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden, dass für die „Rothuntersichtigen“ ein solcher gemeinsamer Reductionsfactor bestehe, wie wir ihn für die total Rothblinden vermuthet haben.

31. Im Gegensatze zu den eben besprochenen, immerhin seltenen Fällen von Augen, die gar keine, oder doch nur eine verminderte Tauglichkeit für die Benützung des Hämometers besitzen, giebt es sehr viele Beobachter, deren Farbensinn von vornherein, oder doch

nach einiger Uebung so scharf ist, dass sie mit der grössten Bestimmtheit die ungleiche Tiefe der Färbung in dem auf einmal durch das Vergleichsgefäss sichtbaren Abschnitte des Keiles erkennen. Allerdings ist die Differenz der Dicken des Keiles an den Enden eines, bei einer Stellung desselben gleichzeitig sichtbaren Stückes nicht geringer als 0·9 Mm., also beträgt diese Differenz bei Einstellung auf normales Menschenblut noch immer circa $^{18}/_{100}$ von der mittleren Dicke des hiebei eingestellten Keilstückes. Doch ist, wie gesagt, nicht jeder Beobachter fähig, die einer solchen Differenz in der Dicke des rothen Glases entsprechende Verschiedenheit der Farbe wahrzunehmen. Mit der Fähigkeit, so geringe Differenzen in der Tiefe der Farbe zu unterscheiden, ist aber für die, welche sie besitzen, ein wesentlicher Vortheil beim Arbeiten mit meinem Hämometer verknüpft. Solche Beobachter werden nämlich im Stande sein, beim Einstellen nach jener Position des Keiles zu suchen, bei welcher am einen Ende der Scheidewand des Vergleichsgefässes die Bluthälfte dunkler gefärbt erscheint, als die Keilhälfte; am anderen Ende die Keilhälfte dunkler scheint, als die Bluthälfte. Dazwischen muss natürlich eine Stelle liegen, an welcher zu beiden Seiten der Scheidewand die gleiche Tiefe der Farbe besteht, und diese Stelle muss in der Mitte der Scheidewand liegen, wenn die an ihren beiden Enden auftretenden Unterschiede einander gleich sind. Für diese ganze Art einzustellen, ist die Abtheilung jeder Hälfte des farbigen Kreises in drei Unterabtheilungen (so, dass deren im Ganzen sechs bestehen) durch zwei dünne, schwarze, auf der Scheidelinie senkrecht stehende, gerade Linien, welche diese letztere in drei gleiche Theile theilen, recht vortheilhaft.

Den befremdenden Eindruck, welchen diese Anweisung zum Gebrauche eines, im Principe und in der Construction so ausserordentlich einfachen Instrumentes, wie das Hämometer eines ist, auf den grössten Theil der Leser höchstwahrscheinlich machen wird, glaube ich nicht nur richtig vorauszusehen, sondern ich würde ihn auch vollkommen begründet finden durch das auffallende Missverhältniss zwischen der geringen Anzahl, der einfachen Beschaffenheit, und raschen Erledigung der für eine Hämometermessung erforderlichen Proceduren, einerseits; und der grossen Zahl von Regeln und Vorschriften andererseits, welche in der obigen Gebrauchsanweisung enthalten sind. Da eben alle, zur correcten Ausführung jener Proceduren unerlässlichen Vorsichtsmaassregeln namhaft gemacht, und

in Kürze motivirt werden sollten, so konnte es nicht anders kommen, als dass jeder Leser eben so gewiss sein kann, in dieser Gebrauchsanweisung viel ihm Bekanntes, oder für ihn Selbstverständliches zu finden, wie er gewiss sein darf, dass sie ihm auch irgend etwas bringt, was ihm neu ist, und worauf er nicht prima facie verfallen wäre. Der Zweck, den ich mit dieser Sammlung von Vorschriften verfolge, besteht eben darin: jeden beliebigen Besitzer eines Hämometers in den Stand zu setzen, sofort, und ohne vorläufiges, mit Misserfolgen verbundenes Probiren, seinen Apparat in der richtigen Weise zu verwenden, und gleich von Anbeginn brauchbare und verlässliche Messungen mit demselben vorzunehmen — und dieser Zweck war auf keine andere Weise zu erreichen, als durch eine möglichst vollständige Aufzählung aller erdenklichen, überhaupt in Betracht kommenden Verhaltungsmaassregeln.

Ein neues Spirometer.

(Aus dem „Centralbl. f. Physiologie", 28. April 1888, No. 2.)

Beschrieben von Dr. Maximilian Sternberg.

Auf Wunsch des Erfinders, Herrn Prof. v. Fleischl, gebe ich im Folgenden die Beschreibung eines neuen Spirometers, welches gegenüber dem Hutchinson'schen und dessen Modificationen wesentliche Vortheile darbietet. Fig. 1 zeigt den Apparat von vorne gesehen, Fig. 2 ist eine schematische Rückansicht, beide in $^1/_4$ der natürlichen Grösse.

Das neue Spirometer beruht auf dem Princip der nassen Gasuhr.

In einem trommelförmigen Gehäuse rotirt eine Messtrommel, welche in vier radiär gestellte Kammern getheilt ist. Das Gehäuse ist bis zu einer bestimmten Höhe über der Umdrehungsaxe mit Wasser gefüllt. Die Kammern communiciren einerseits durch radiär gestellte, schlitzförmige Oeffnungen in der hinteren Bodenfläche der Trommel mit einem gemeinsamen Vorraume, in den die Luft durch den Schlauch *ib* eingeblasen wird, andererseits durch ähnliche Schlitze in der vorderen Wand mit dem Raume zwischen Messtrommel und Gehäuse. Diese zweite Art von Communication ist nun so angebracht, dass immer drei Oeffnungen durch die Sperrflüssigkeit verschlossen sind und die Luft nur aus einer Kammer, deren Oeffnung über dem Wasserniveau steht, aus der Trommel entweichen kann, während gleichzeitig die Einströmungsöffnung für diese Kammer sich unter dem Wasserspiegel befindet. Durch die eingeblasene Luft werden nun die anderen Kammern gefüllt, die zunächst der oben stehenden befindliche Kammer steigt auf, giebt ihre Luft ab, während dessen steigt die nächste auf u. s. f. Dadurch, dass die Wände, welche die Kammern trennen, in einem Sinne gekrümmte Schraubenflächen sind, kann die Drehung der Trommel

nur nach einer Richtung erfolgen. Aus dem Gehäuse entweicht die Luft durch eine an der Hinterwand, diametral gegenüber dem Hahne *b*, befindliche Oeffnung.

So geht mit jeder Umdrehung der Trommel ein bestimmtes Volumen Luft durch. Gleichzeitig wird durch Zahnradübertragung ein Zeigerwerk in Bewegung gesetzt, welches dieses Luftquantum anzeigt. An dem kleinen Theilkreise giebt eine vollständige Umdrehung des Zeigers 5 Liter an, die Theilung geht von 100 zu 100 Kubikcentimeter. Am grossen Theilkreise entspricht jeder Theilstrich 5 Kubikcentimeter, ein Umlauf des grossen Zeigers zeigt 1 Liter an.

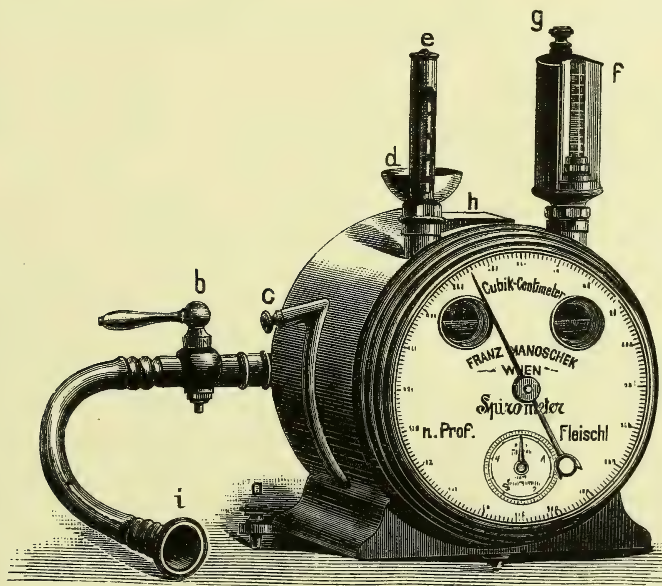


Fig. 1.

Der Apparat trägt ferner ein Manometer *f*, welches den Druck der Ausathmungsluft in Millimetern Wassersäule anzeigt, und ein Thermometer *e*.

Zum Gebrauche wird eine Dosenlibelle auf die Wagplatte *h* aufgelegt und das Spirometer mittelst der zwei Schrauben *a* horizontal gestellt. Nun wird die Schraube am Fülltrichter *d* und die Ueberlaufschraube *c* geöffnet und durch *d* so lange Wasser eingegossen, bis dasselbe bei *c* auszulaufen beginnt. Man lässt das überschüssige Wasser bei *c* ablaufen und schliesst hierauf beide Schrauben. Zur Controle des richtigen Wasserstandes dienen die beiden runden Oeffnungen am Zifferblatte, welche durch Glasplatten verschlossen

sind, an denen eine horizontale Linie als Wasserstandsmarke angebracht ist.

Nur bei absolut horizontaler Stellung und richtiger Höhe des Wasserspiegels sind die Angaben des Apparates richtig.

Zur Füllung des Manometers wird die Schraube *g* geöffnet und so lange Wasser eingegossen, bis dasselbe im graduirten Glasrohre auf Null steht.

Die Zeiger am Zählwerk können vor jedem Gebrauche aus der Hand auf Null eingestellt werden. Nun wird der Hahn *b* geöffnet und die Luft beim Mundstück *i* eingeblasen. Die Menge der Ausathmungsluft ist an den Theilkreisen abzulesen, Druck und Temperatur derselben am Manometer, respective Thermometer ersichtlich.

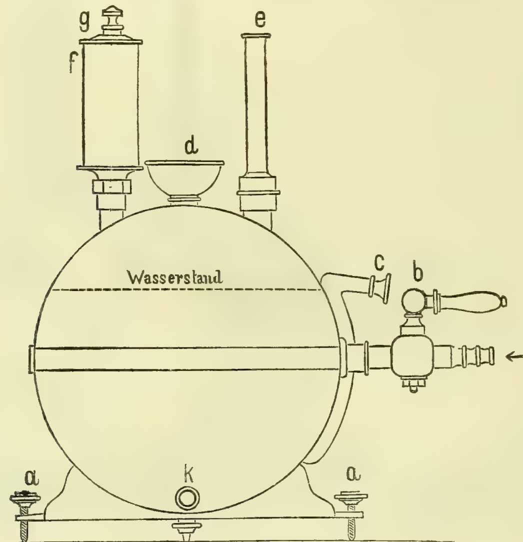


Fig. 2.

Da die Innentheile des Apparates aus verzinntem Messingbleche angefertigt sind, so kann derselbe beliebig lange mit Wasser gefüllt bleiben; zur Entleerung dient die an der Rückseite befindliche Schraube *k*.

Da die Reibung der Constructionstheile eine äusserst geringe ist, so findet die durchgeblasene Luft in diesem Spirometer so gut wie keinen Widerstand, derselbe kommt nicht einmal bei der Beobachtung am Manometer in Betracht.

Der Apparat wird von Herrn F. Manoschek in Wien (VI. Wallgasse 27) zum Preise von fl. 50.— geliefert.

Wien, März 1888.

Eine bisher unerkannte Wirkung des Herzschlages.[1])

(Aus Beiträge zur Physiologie, Carl Ludwig zu seinem 70. Geburtstage gewidmet von seinen Schülern Leipzig, 1886.)

Die ganze Blutmasse, welche während der Diastole des Herzens in dessen Kammern eingedrungen ist, erleidet — wie man seit langer Zeit weiss — im Moment des Beginnes der Systole einen Stoss, und der Inhalt der rechten Herzkammer wird sehr bald, nachdem er diesen Stoss erlitten hat, in die Capillargefässe der Lunge befördert, woselbst er fliessend, mit stets wechselnden Punkten seiner Masse eine ausserordentlich grosse Oberfläche berührt, an der er nur durch ein feinstes Häutchen von der Lungenluft getrennt, und somit unter Bedingungen versetzt ist, die einen ausgiebigen diffusorischen Verkehr mit der Luft ermöglichen. Ausserdem ist das Blut, während des grössten Theiles der Dauer[2]) seines Aufenthaltes in den Lungen, auch noch der Einwirkung eines negativen Druckes ausgesetzt. Die periodische Druckschwankung der Alveolarluft wird uns im Verlaufe der folgenden Betrachtungen wohl nicht weiter beschäftigen; aber es sind gerade diese beiden, eben erwähnten Einwirkungen: ein die ganze Masse treffender Stoss, und ein gleichzeitig vorhandener, oder bald sich einstellender negativer Druck, unter welchen ich an gashaltigen Flüssigkeiten sehr auffallende Vorgänge beobachtet habe — das erste Mal durch einen Zufall,

[1]) Diese Abhandlung enthält den Grundgedanken zu der später ausführlich durchgearbeiteten Studie, welche in Buchform erschienen ist: Die Bedeutung des Herzschlages für die Athmung. Eine neue Theorie der Respiration, dargestellt für Physiologen und Aerzte. Stuttgart, bei F. Enke 1887. Wegen dieser Form des Erscheinens konnte sie in die „Gesammelten Abhandlungen" nicht aufgenommen werden, doch sei hier auf das Buch verwiesen. (Exner.)

[2]) In gewissem Sinne sogar: ununterbrochen, siehe z. B. L. Hermann, Lehrbuch der Physiologie, 8. Auflage, S. 113, — doch ist hier von der Abnahme der Dichte der Alveolarluft die Rede, die Folge der Toraxausdehnung und Ursache der Respiration ist.

dann aber im Verlaufe einer Reihe von mehrfach variirten Experimenten.

Wenn ich mir nun auch ganz deutlich dessen bewusst bin, dass meine Erfahrungen mich vorderhand noch nicht zu dem Versuche einer streng theoretischen, physikalischen Bearbeitung des Gegenstandes berechtigen, so glaube ich doch auf der anderen Seite, die Sache weit genug verfolgt zu haben, um von den neu erworbenen Kenntnissen eine oben schon angedeutete Anwendung auf einen, der Physiologie angehörenden, besonderen Fall machen zu dürfen.

Wie der Verlauf der folgenden Darstellung zeigen wird, genügen die einfachsten Hilfsmittel zur Ausführung physikalischer Experimente, aus welchen sich unmittelbar Aufschlüsse über die Constitution von gashaltigen Flüssigkeiten ergeben, die ganz unerwartet sind, und ein von der Wissenschaft bisher noch nicht bemerktes Gebiet von Phänomenen kennen und verstehen lehren. Es wäre möglich, dass zwischen ihnen, und gewissen, sehr alten und volksthümlichen Beobachtungen an moussirenden Getränken ein Zusammenhang bestände; doch dürfte es kaum die Mühe lohnen, diesem nachzuforschen, da er jedenfalls nur ein weitläufiger sein kann — in Anbetracht der grossen Unterschiede zwischen den Umständen, unter denen die Erscheinungen zu Stande kommen. Wichtiger ist es jedenfalls, einen anderen Zusammenhang zu verfolgen, und seine Bedeutung zu untersuchen. Einige von den Eigenschaften, welche ich an Flüssigkeiten beobachtet habe, die mit Gasen in Berührung gewesen waren, zeigen nämlich eine so auffallende Uebereinstimmung mit gewissen Eigenschaften übersättigter Salzlösungen, dass eine wirkliche Verwandtschaft zwischen diesen Phänomenen wohl bestehen dürfte.

Ich habe die Versuche, welche zu den oben erwähnten Aufschlüssen führten, fast alle mit dem Wasser der Wiener „Hochquellen-Leitung“ angestellt — so wie es aus den Röhren strömt — ohne weitere Vorbereitung, ausgenommen die auf die Temperatur des Wassers sich beziehenden. Das Wasser dieser Leitung ist so arm an festen, gelösten Stoffen, besonders an Chloriden, dass es in vielen Fällen an der Stelle destillirten Wassers benutzt werden darf, und thatsächlich benutzt wird — es enthält eine äusserst geringe Quantität von Calciumsulphat, und ist beinahe gänzlich frei von organischen Substanzen. Die Temperatur, welche es hat, wenn es

aus den Hydranten fliesst, schwankt zwischen 8° und $12^1/_2$° C.; ich habe die Versuche aber auch — und zwar mit ganz gleichen Erfolgen — mit solchem Wasser angestellt, nachdem es bis auf 42° C. erwärmt worden war.

Füllt man eine gut schliessende, gläserne Spritze — eine gewöhnliche Pravaz'sche Spritze, oder eine Wundspritze mit Glasstiefel[1]) u. dgl. — durch langsames Aufziehen des Kolbens etwa bis zu vier Fünfteln ihrer Länge mit Wasser, so dass gar keine Luft mit eintritt, verschliesst man hierauf die Mündung der Spritze — entweder mit dem Finger, oder mittels eines Hahnes — und zieht man nunmehr den Kolben vollends in die Höhe: so wird im Verlaufe der nächsten Minute eine Anzahl von Bläschen an den Wänden des Glasrohres sichtbar, die wenig Neigung haben, sich von diesen loszulösen, und eine andere, mässige Anzahl von Bläschen erscheint im Innern des Wassers — langsam in diesem emporsteigend. Lässt man nach Verlauf einer bestimmten Zeit, etwa einer halben oder ganzen Minute, mit dem Zuge am Stempel der Spritze nach, so dass dieser wieder die Oberfläche des Wassers erreicht, so verkleinern sich bekanntlich alle diese Hohlräume beträchtlich, und man kann nun leicht die ganze, auf diese Weise aus dem Wasser ausgepumpte Luft in ein einziges Bläschen sammeln, und dann auf irgend eine Art dessen Grösse bestimmen, oder auch das Bläschen selbst in ein anderes Gefäss übertragen, und zum Vergleiche aufbewahren, am besten über frisch ausgekochtem Quecksilber — oder aber, nach einem anderen Plane den Versuch weiterführend, nach erfolgter approximativer Bewerthung der Grösse des Luftbläschens, dieses in der Spritze lassen, mit welcher dann auf eine später mitzutheilende Weise weiter experimentirt wird. Wir verweilen jedoch zunächst bei der Ausführung des Versuches nach jenem Plane, den wir soeben bis zur Bestimmung der sehr kleinen Gasmenge verfolgt haben, die unter den erwähnten Bedingungen aus dem, die Spritze zu vier Fünftheilen erfüllenden Wasser austrat; und wollen nun ermitteln,

---

[1]) Ich habe eine Anzahl von Versuchen nicht mit Spritzen, sondern mit einer Glasröhre ausgeführt, deren beide Enden mit sorgfältig eingeschliffenen Glashähnen versehen waren. Durch den einen derselben konnte eine Communication mit einer Toricelli'schen Leere hergestellt werden, die sich über dem Quecksilber in einer zweiten, über 1 m langen, 14 mm weiten, vertical aufgerichteten Glasröhre bildete. Aber ich fand bald, dass diese Art, ein Vacuum zu erzeugen, nicht einmal bei messenden Versuchen, der im Text beschriebenen Art überlegen ist, wegen der mit der Anwendung luftfreien, jedesmal frisch auszukochenden Quecksilbers verbundenen Unannehmlichkeiten, und wegen der Unsicherheit, die bezüglich der Abwesenheit aller Luft im Quecksilber immer noch bestehen bleibt.

wie viel Gas unter sonst identischen Bedingungen aus dem Wasser frei wird, wenn wir dieses, unmittelbar vor der Anbringung eines nahezu leeren Raumes über ihm, der Wirkung eines Stosses aussetzen. Eine sehr gute Methode, diesen Stoss anzubringen ist die, dass man die Spritze unter Wasser von dem früheren Inhalte entleert, so dass der Kolben vorne anstösst, und nur der kurze und weite Canal ihrer Mündung mit Wasser angefüllt bleibt. Ist die Spritze hierbei ganz unter Wasser, so tritt dieses beim Entleeren in den Raum über dem Kolben — ein ganz erwünschtes Ereigniss, da eine Wasserschicht über dem Kolben jeden Verdacht, dass später in den leeren Raum Luft neben dem Kolben, oder durch ihn hindurch, eindringen könnte, beseitigt. Es war also auch schon bei dem früheren Versuch dafür zu sorgen, dass sich etwas Wasser über dem Kolben befindet, und die Spritze ist beim Versuche selbst stets senkrecht, mit der Mündung nach unten zu halten — wenn man es nicht vorzieht, die Versuche überhaupt unter Wasser anzustellen, und die Spritze gar nicht über dieses emporzuheben. — Ist die Spritze, wie beschrieben entleert, dann verschliesst man ihre Mündung, die einstweilen jedenfalls unter Wasser zu bleiben hat, mit dem Finger, zieht den Kolben bis zum Beginn des obersten Fünftels der freien Rohrlänge empor, und entfernt nun plötzlich den Finger von der Mündung. Das in den leeren Raum hineinstürzende Wasser erfährt hierbei einen sehr heftigen Stoss. Da der Stoss bei weitem nicht so stark zu sein braucht, und da das eben geschilderte Verfahren einige Einwände gegen die Reinheit des Versuches veranlassen könnte, so ist es rathsam, dasselbe Princip des Stossens, jedoch in folgender, milderer Form anzuwenden. Nachdem die Spritze wie früher entleert ist, wird sie durch langsames Aufziehen des Stempels nicht ganz, sondern nur nahezu bis zum Beginn des obersten Fünftels mit Wasser gefüllt, hierauf der Finger vor die noch immer unter Wasser befindliche Mündung gelegt, dann der Kolben durch Zug auf seine gehörige Stelle weitergehoben, und im selben Moment, in dem er diese erreicht hat, der Finger weggezogen. Auf diese Art wird das Wasser nur durch verschwindend kurze Zeit einer vorläufigen Saugwirkung ausgesetzt, und erhält doch durch die kleine, zuletzt nachstürzende Wassermasse einen hinlänglich heftigen Stoss. Dass das Saugen den Versuch nicht verunreinigt hat, erkennt man an der Abwesenheit jeglichen Luftbläschens. Zieht man aber nun den Kolben ganz hinauf, nachdem man zuvor selbstverständlich, wie früher, die Mündung wieder verschlossen hat, so wird man statt des früher beobachteten, allmäligen Auftretens ver-

einzelter Hohlräume nunmehr ein so plötzliches Entstehen zahlloser Bläschen gewahr werden, dass die ganze Wassermasse sich in einen dichten, weissen, undurchsichtigen, feinen Schaum verwandelt. Das Wasser gewinnt sein gewöhnliches Aussehen erst wieder, nachdem zu Folge des Aufsteigens der einzelnen Bläschen das Moussiren sich langsam nach oben zurückgezogen hat. Ist dies erfolgt, so hat man, ehe die vorgeschriebene Zeit des Saugens abgelaufen ist, noch volle Musse, um die noch in der Flüssigkeit schwebenden, und die an den Wänden haftenden Bläschen mit der grossen Luftblase (durch Wenden der Spritze) zu vereinigen, und wenn nun zuletzt der Kolben wieder zurückgeführt, und die Mündung von ihrem Verschluss befreit worden ist, so lehrt schon der flüchtigste Augenschein, dass die jetzt ausgepumpte Gasblase unter normalem Luftdruck vielmal grösser ist, als die früher aus einer ebenso grossen Wassermenge gewonnene; und die Messungen ergaben — je nach den verschiedenen Variationen, die mit diesem Versuche vorgenommen wurden, dass die aus dem gestossenen Wasser gepumpte Gasquantität 15—135 mal so gross war, wie die aus nicht gestossenem Wasser unter sonst ganz gleichen Verhältnissen ausgepumpte. — Will man den anderen Weg gehen, und mit dem, ohne vorhergegangenen Stoss, einfach ausgepumpten Wasser weiter experimentiren, so scheut man weder die Abschwächung des Stosses noch die der Saugwirkung, welche aus der Anwesenheit der bereits vorhandenen kleinen Luftblase im Wasser folgt, sondern bringt die Spritze mit der Mündung unter luftfreies, eben ausgekochtes Wasser, von dem man auf die angegebene Art, um den Stoss auszuüben, eine geringe Menge in die Spritze hineinprallen lässt, und wenn man nun zum zweiten Mal das Wasser auspumpt, sieht man (statt dass — wie eigentlich zu erwarten wäre — kein Gas mehr aus ihm entweicht, namentlich unter der jetzt nicht unerheblich geringeren Saugwirkung) — es sich in eine lebhaft, ja heftig moussirende, schaumige Masse verwandeln, und kann sich sofort von dem gewaltigen Anwachsen des früher gewonnenen Luftbläschens infolge der zweiten Procedur, durch den blossen Augenschein überzeugen.

Nun gibt es so viele verschiedene Versuchsweisen, welche die eben beschriebene Thatsache bestätigen, verdeutlichen, erweitern, dass ich mich hier auf die Mittheilung einer Auswahl aus den angestellten Experimenten beschränken muss, bei welcher die Rücksicht auf die später zu machende Anwendung auf einen bestimmten Fall zumeist maassgebend sein wird. Ich will nur noch die Bemerkung einschalten, dass ich die Versuche auch mit anderen Flüssigkeiten

als Wasser angestellt, und überall im Wesen das gleiche Verhalten angetroffen habe. Sehr schön sind die Erscheinungen am Alkohol, von dem ich eine 94 procentige Sorte verwendet habe.

Arbeitet man mit einer Spritze, deren Kolben so dicht schliesst, und dabei so leicht geht, dass er, bei geschlossener Mündung emporgezogen und dann losgelassen, wieder ganz zurückschlägt, so kann man damit auf folgende, sehr einfache Weise den Versuch anstellen. Die Spritze wird durch langsames Aufziehen des Stempels mit Wasser gefüllt — etwa bis zur Hälfte; dann wird die Mündung einfür allemal, am bequemsten vermittelst eines Hahnes verschlossen. Die Spritze bleibt während des ganzen Versuches mit der Mündung nach unten gekehrt. Nun zieht man den Kolben soweit hinauf, als er überhaupt geht, hält ihn eine Weile oben, und lässt ihn dann ganz langsam und vorsichtig wieder zurück, bis er das Wasser erreicht. Hierauf zieht man ihn ein zweites Mal empor, aber nicht ganz, sondern nur eine kurze Strecke, und lässt dann den Stempel los, worauf er mit solcher Geschwindigkeit zurückfährt, dass der Kolben auf das Wasser aufschlägt — ihm einen Stoss ertheilt; und nun zieht man den Stempel zum dritten Mal empor, diesmal wieder ganz, und wird nun das plötzliche und mächtige Aufschäumen des Wassers, sowie die beträchtliche Vermehrung des ausgepumpten Gases beobachten können.[1]) — Bisher wurden bloss solche Arten des Verfahrens besprochen, welche naturgemäss eine zeitliche Trennung, eine Aufeinanderfolge der beiden Einwirkungen auf die Flüssigkeit bedingen. Die nunmehr zu beschreibenden Verfahrungsweisen legen die Verfügung über alle zeitlichen Umstände, speciell über Trennung oder Zusammenbestehen von Stoss und Druckverminderung ganz in unsere Willkür. — Da hier eben von Verhältnissen der Zeit die Rede ist, anticipire ich — ihrer Wichtigkeit wegen — folgende Bemerkung, auf deren Inhalt noch an einer späteren Stelle näher eingegangen werden wird. Alle die besprochenen, und die noch zu besprechenden Versuche gelingen um so besser, das heisst: es tritt ein um so heftigeres Aufschäumen der Flüssigkeit ein, je kürzer die Zeit ist, die man zwischen dem Moment des Stosses, und dem der Druckverminderung verstreichen lässt.

Ich will nun gleich die besten Methoden schildern, die mir bekannt geworden sind, zur Untersuchung der Wirkung, die ein Stoss auf eine gleichzeitig unter negativem Druck stehende Flüssigkeit hat.

---

[1]) Dieser Versuch, mit einer guten Spritze von etwa 3 Centimeter Durchmesser angestellt, ist ganz besonders überraschend und auffallend.

Man fülle durch langsames Aufsaugen die Spritze etwa bis zu drei Vierteln mit frischem Wasser, verschliesse hierauf für die ganze fernere Dauer des Versuches die Mündung luftdicht, kehre die Spritze mit der Mündung nach oben, und ziehe nun den Kolben noch weiter (um eine nicht allzu grosse Strecke) heraus, und halte ihn in dieser Lage fest, aber mit der Rücksicht, dass die untere Fläche des flachen Knopfes, oder die untere Hälfte des Ringes, in welchen der Stempel an seinem äusseren Ende übergeht, frei bleibt, und nicht von Theilen der am Stempel ziehenden Hand bedeckt oder überragt wird.[1]) Es bilden sich die bekannten, spärlich vertheilten Bläschen, von denen einige aufsteigen, und sich mit dem Vacuum über dem Wasser (zwischen diesem und der Mündung) vereinigen. Nun nehme man ein Hämmerchen oder einen Holzschlägel in die rechte Hand, und übe damit auf die nach unten gekehrte Fläche des äusseren Stempelendes einen kurzen Schlag aus — nicht so heftig, dass man etwa die Stempelstange zwischen den sie fixirenden Fingern um ein merkliches Stück in die Höhe triebe. Der Erfolg tritt erst eine kurze, aber deutlich wahrnehmbare Zeit nach Ertheilung dieses Stosses ein, und ist der bekannte des heftigen Aufschäumens der Flüssigkeit. Wenn der Stoss nicht zu stark war, so werden noch weitere, auf gleiche Weise applicirte Schläge den Erfolg der Entwicklung eines, mit wachsender Zahl der Stösse immer schwächer werdenden, und immer langsamer auftretenden Schaumes im Wasser hervorrufen. Noch einfacher kann man den Versuch mit einer Pravaz'schen Spritze so ausführen, dass man wie angegeben verfährt, und die zwischen den drei Fingern der Hand gehaltene Spritze mit dem nach unten gekehrten Knopf am Ende der Stempelstange auf eine Tischplatte aufstösst. Ich warne nachdrücklich davor, diese Versuche, die man weder ganz unter Wasser, noch auch mit Wasserverschluss des Kolbens anstellen kann, gewiss mit keiner anderen, als einer sehr vollkommen schliessenden, ganz luftdichten Spritze

[1]) Arbeitet man mit einer Pravaz'schen Spritze, so kann man auf zweckmässige Weise den Kolben in seiner forcirten Lage festhalten, indem man die Zeigefingerbeere der linken Hand zum Verschliessen der Mündung verwendet, und zwischen Daumen und Mittelfinger die Stempelstange so nahe an der Rückplatte der Spritze wie nur möglich festhält. Dieselben Finger vermittelten vorher, als die rechte Hund den Stempel in seine Lage brachte, den Widerhalt gegen die Zugkraft dieser Hand, und liessen zugleich die Stempelstange zwischen sich durchgleiten. Hierbei stemmten sich die genannten Finger der Linken gegen die Rückwand der Spritze. Sowie aber die beiden Finger die Stange des Stempels fest zwischen sich pressen, kann dieser um so weniger wieder zurückgehen, als seine Stange bei diesen Spritzen der ganzen Länge nach ein Schraubengewinde trägt.

vorzunehmen. Ist man nicht ganz sicher über den luftdichten Schluss des Kolbens, so weiss man gleich nach dem gewaltsamen Herausziehen des Stempels nicht, wie man dran ist. Denn die meisten von den Blasen, die danach entstehen, bilden sich ja an der rauhen Fläche des Kolbens, die an das Wasser grenzt, und steigen von da aus empor. Das sieht nun ganz so aus, als dränge Luft zwischen dem Kolben und dem Stiefel von unten her in das Wasser ein. Man muss also dessen ganz gewiss sein, dass der Kolben keine Luft durchlässt, sonst fühlt man sich immer wieder veranlasst, nachzusehen, ob Luft eingedrungen ist oder nicht, bringt den Kolben sachte vorwärts, bis er wieder den normalen Druck im Innern der Spritze herstellt, wendet die Spritze, um etwa hinter der undurchsichtigen Armirung ihres vorderen Endes verborgene Luftblasen hervorzutreiben — kurz: man unterbricht und stört den an und für sich so einfachen und klaren Versuch, der aber, ebenso wie die übrigen hier in Rede stehenden Versuche, dergleichen durchaus nicht verträgt, sondern mit Vermeidung jeder überflüssigen Manipulation, bedachtsam und präcis ausgeführt werden muss. Denn sonst verwirrt man den Zuschauer gar zu leicht, der dann — besonders wenn mehrere von den beschriebenen Experimenten nach einander gemacht werden — bald nicht mehr weiss, was mit dem eben dem Versuche unterzogenen Wasser schon Alles geschehen ist, und was noch nicht. Aber — aufmerksam und mit einiger Geschicklichkeit ausgeführt, sind alle diese Versuche sehr hübsch anzusehen.

Auch nach dem stossartigen Aufsetzen des unteren Stempelendes auf eine Tischplatte, wie es zuletzt erwähnt wurde, erfolgt ein heftiges Aufbrausen, welches in seiner Heftigkeit abhängt von der Stärke des Stosses, den die Wassermasse erhalten hat. Trotz der äussersten Beschränkung, die ich mir bei der vorliegenden Darstellung von Fragmenten einer physikalischen Untersuchung auferlegt habe, kann ich doch einige Bemerkungen nicht unterdrücken, die vielleicht dem Anscheine nach weitschweifig, und von zu breiter Ausführlichkeit sind. Ihre Einschaltung ist aber deshalb nicht zu vermeiden, weil sie von Umständen handeln, die zwar an und für sich geringfügig scheinen, von denen aber dennoch der ganze Erfolg der in Rede stehenden Experimente abhängt.

Es kann nach den Ergebnissen meiner sämmtlichen Experimente nicht bezweifelt werden, dass — wenn den übrigen Bedingungen genügt ist — das Phänomen des Aufschäumens einer gashaltigen Flüssigkeit von dem Umstande abhängt, ob diese durch einen Stoss erschüttert wird — oder nicht. Das ist so sicher, dass, wenn man

nach Herstellung eines Vacuums, oder nach Verminderung des Druckes über einer solchen Flüssigkeit, eine Procedur vornimmt, welcher man den Effect einer erheblichen Erschütterung der Flüssigkeit beimisst, und es danach zu keinem Aufschäumen der letzteren kommt, man sicher sein kann, dass wegen irgend einer Ursache die Flüssigkeit unerschüttert geblieben ist — oder beinahe. Und solche unerwartete Fälle habe ich in nicht geringer Menge kennen gelernt. Wenn man z. B. bei den zuletzt vorgeführten Versuchen die Spritze zwar im Uebrigen ganz nach der Beschreibung behandeln würde, ihr auch eine senkrechte Richtung gäbe, aber mit der Mündung nach unten, statt nach oben, so dass im Moment des Schlages mit dem Hammer auf das äussere Ende des Stempelstiels das Vacuum sich zwischen Kolben und Wasser befindet, so würde man vergeblich auf einen Effect warten, selbst wenn der Schlag an und für sich sehr kräftig wäre.

Oder wenn man ebenfalls wieder Alles ungeändert liesse, auch die Mündung nach oben gekehrt hielte, aber statt der oben genau beschriebenen Fixirung des Stieles durch die Finger, den Stempel in seiner Lage hielte, durch irgend eine solide mechanische Verbindung seines Stieles mit der rückwärtigen Fassung des Rohres, und wenn man nun während der Application des Schlages mit dem Hammer, oder während des Niederstossens der Spritze auf einen Tisch, die Spritze nur an dem herausragenden Theil der Stempelstange mit den Fingern hielte, so würde gleichfalls der Erfolg ganz, oder beinahe ganz ausbleiben, weil auf diese Weise die Erschütterung sich beinahe gar nicht auf das Wasser übertragen, sondern nur in den festen Theilen des Systemes sich fortpflanzen würde. Hielte man aber die Spritze während des Schlages auf das Stempelende an ihrem Rohre fest, so würde kaum eine von den üblichen, und leicht anzubringenden Fixirungs-Weisen der Stempelstange in der Stopfbüchse, durch die sie durchtritt (Festklemmen durch eine Schraube, Durchstecken eines Stiftes durch vorgebohrte Querlöcher u. s. w.), hinreichende Festigkeit besitzen, um nicht doch eine spurweise Verschiebung des Kolbens zuzulassen — ein Theil der Erschütterung würde sich auf die Wassermasse übertragen, und ein deutlich wahrnehmbares — von der untersten Partie zur Oberfläche aufsteigendes, aus allerfeinsten, dicht gedrängten Bläschen zusammengesetztes „Wölkchen“, oder ein wirkliches Aufschäumen der ganzen Masse verursachen. Es ist ganz erstaunlich, und für unsere spätere Betrachtung höchst wichtig und bedeutsam, wie unbedeutend und — wenn ich so sagen darf — wie „weich“ der dem Wasser in den

zuletzt beschriebenen Versuchen mitgetheilte Stoss — wie gering die das Wasser treffende Erschütterung sein darf, ohne ihren Effect zu verfehlen. Ich spreche jetzt wieder von der correct zwischen den Fingern der einen Hand gehaltenen Spritze, ganz in dem Zustand, wie sie in dem obigen Versuch von unten her den Hammerstreich erhalten, oder auf die Tischplatte niederfahren sollte. Statt dieser starken Stösse kann man nun dem, unter einem Vacuum stehenden Wasser durch alle möglichen, von unten her das Stempelende treffenden Körpers, Stösse, und durch Mässigung der Geschwindigkeit, mit der man sie anstossen lässt, die Stösse sehr vielfach variirt und abgeschwächt ertheilen. Man wird sich hierbei leicht überzeugen, wie schon die Berührung des Stempelknopfes mit der Beere eines Fingers eine deutliche Wirkung hat, wenn auch die Bewegung eine so sanfte ist, dass man höchstens von einem „Antupfen mit dem Finger" sprechen kann. Man erhält sogar noch ganz deutliche Bläschenschwärme, wenn man nicht den Stempel selbst von unten, sondern das Rohr von der Seite her stösst, und auch in dieser Weise genügt ein ganz schwacher Schlag mit der weichen Fingerbeere.[1])

Es soll jetzt eine Variation dieser Versuche beschrieben werden, welche lehrt, dass das Wasser nur an Stellen schäumt, die erschüttert wurden. Auch hierfür kann man sich einer tadellos schliessenden Pravaz'schen Spritze bedienen, die man, ganz wie früher, erst zu $^3/_4$ mit Wasser füllt, und in der man dann durch völliges Ausziehen des Stempels ein Vacuum herstellt. Wir halten die Spritze, mit der Mündung aufwärts gekehrt, in der linken Hand, deren Zeigefinger bisher den luftdichten Verschluss der Mündung besorgte, und nun plötzlich von dieser abgehoben wird. Die Luft stürzt so schnell in den obersten Theil der Spritze, dass sie dem Wasser allerdings einen Stoss versetzt. Wenn nun aber der Kolben mit der rechten Hand möglichst flink so weit vorgeschoben wird, dass die soeben eingedrungene Luft wieder ganz verdrängt ist, und das Wasser das Niveau der Mündung erreicht, und diese gleichfalls ohne Zeitverlust mit dem Finger verschlossen wird, während die rechte Hand den Kolben wieder ganz herunterzieht: so kann man an der Beschränkung des danach auftretenden Brausens auf die obersten Schichten des in der Spritze befindlichen Wassers erkennen,

---

[1]) Ich warne davor, bei diesen Versuchen voreilig einen Misserfolg anzunehmen, wenn nicht gleich nach Application eines recht schwachen Stosses das Schäumen auftritt. Ich schätze die Zeit, welche in solchen Fällen verstreicht, bis sich die Wirkung zeigt, auf 1—3 Secunden.

dass die Erschütterung desselben durch den Anprall der Luft nur bis in die Tiefe von wenigen Millimetern gedrungen ist. In grösserer Tiefe erfolgt kein Moussiren, sondern höchstens eine allmälige Entwicklung weniger von den wohlbekannten grossen Vacuum-Blasen, wie sie das Wasser, ohne gestossen zu sein, zeigt.

Ganz anders fällt der Versuch aus, wenn man — im Uebrigen wie früher verfahrend — die Spritze von Anfang an mit der Mündung abwärts gekehrt hält. Nach Herausziehen des Kolbens bildet sich jetzt das Vacuum zwischen dem Wasser und dem Kolben, und wenn nun der linke Zeigefinger rasch von der Mündung abgezogen wird, so wird durch die hereinstürzende Luft zunächst die in der Spritze befindliche Wassermasse als Ganzes gegen die Endfläche des Kolbens angeworfen, und hierbei nicht unerheblich erschüttert. Sofort aber beginnt die eingelassene Luft emporzusteigen, und würde als grosse Blase durch das ganze Wasser aufsteigen — was aus Gründen, auf die ich hier nicht eingehen kann, unstatthaft ist. Man muss also unmittelbar, nachdem der Anprall des Wassers an den Kolben erfolgt ist, die Spritze mit der Mündung nach oben wenden, und nun, ganz wie früher, die eingedrungene Luft durch Vorwärtsbewegen des Kolbens wieder hinaustreiben. Im Uebrigen wird der Versuch ganz wie der vorangehende zu Ende geführt. Jetzt wird aber der Effect ein ganz anderer sein! Erstens ist der Stoss des Wassers gegen den Kolben eine viel stärkere Erschütterung, als der Stoss der Luft gegen das Wasser im ersten Fall war, und zweitens wurde jetzt das ganze Wasser gestossen, da alle seine Theile in einer raschen Bewegung plötzlich unelastisch gehemmt wurden. Diesen Umständen entsprechend sieht man denn auch jetzt nach dem Zurückziehen des Stempels das Wasser in seiner ganzen Masse mächtig aufschäumen. Im Hinblick auf die gebotene möglichste Einschränkung dieser Darstellung, soll es bei den bisher beschriebenen Versuchen sein Bewenden haben; wobei freilich viele Anordnungen und ganze Versuchstypen unerwähnt bleiben, deren Ergebnisse wir eben hier nicht nothwendig brauchen. Zur Begründung meiner neuen Ansicht über die Wirkung des Herzschlages wird das oben mitgetheilte wohl genügen. — Bevor aber zur Entwicklung dieser Ansicht geschritten wird, bedarf es noch der folgenden, sich aus den eben berichteten Thatsachen ergebenden Ueberlegung und Schlussfolgerung.

In derselben Weise, in welcher die im Wasser enthaltene Luft mit dem Wasser vereinigt ist, bevor es einen Stoss empfangen hat, kann die Luft nach erfolgter Einwirkung eines Stosses unmög-

lich mit dem Wasser vereinigt sein — der Stoss muss nothwendig eine Aenderung in der molecularen Structur des lufthaltigen Wassers herbeiführen — das geht aus sämmtlichen, besprochenen Versuchen hervor. Denn der Stoss bringt keine Aenderung in der chemischen Beschaffenheit der mit einander vereinigten beiden Substanzen hervor, ebensowenig veranlasst er eine Aenderung in den Quantitäten (oder deren Verhältniss zu einander) der beiden Körper: da aber verschiedene Wirkungen ein und derselben Ursache auf identische Objecte undenkbar sind, so folgt aus der Verschiedenheit der Wirkung einer Druckverminderung auf das Wasser, vor und nach erlittenem Stoss, dass durch den Stoss eine Verschiedenheit geschaffen wurde, dass eine Veränderung im Wasser vor sich gegangen ist. Diese Aenderung kann sich aber, nachdem sie nicht am Wesen, noch an der Quantität der beiden mit einander verbundenen Substanzen, Luft und Wasser, stattfindet, nur mehr auf die Art beziehen, in der sie mit einander verbunden sind. Ich glaube aber, dass es schwer wäre, eine andere, als die folgende Vorstellung ausfindig zu machen, die den sichtbaren Erscheinungen in so befriedigender Weise gerecht würde, und mit den übrigen, uns geläufigen Kenntnissen und Anschauungen von den Eigenschaften der Materie in so gutem Einklang stände. — Die gewöhnliche Bestandform von Flüssigkeiten, die in hinlängliche Berührung mit Gasen gekommen waren, ist in sehr weitgehender Analogie mit der Beschaffenheit von Lösungen crystalloider Körper — (vielleicht sind sie insbesondere übersättigten solchen Lösungen an die Seite zu stellen). Wird nun eine gashaltige Flüssigkeit durch einen Stoss erschüttert, so wird der bisherige enge Zusammenhang der Molekeln von Flüssigkeit und Gas, in welchem das letztere seine physikalischen Eigenschaften völlig eingebüsst hatte, zerrissen, die Gasmolekeln liegen vollkommen ausserhalb der Flüssigkeitsmolekeln — so zu sagen — frei, neben und zwischen letzteren. Man könnte nun vielleicht fragen: wie es komme, dass sich diese, durch den Stoss bewirkte Veränderung des Zustandes nicht durch ein allmäliges Verarmen der Flüssigkeit an Gas zu erkennen gebe, wie zu erwarten wäre, weil das Gas jetzt wieder im Besitze seiner physikalischen Eigenschaften, zwar auf das innigste mit der Flüssigkeit gemischt, aber doch im Principe durch nichts am Entweichen gehindert sei. Hierauf wäre zu antworten: dass dem Gase zufolge der eigenthümlichen Verhältnisse, in denen es sich dermalen befinde, allerdings eine — und zwar seine bedeutsamste, physikalische Eigenschaft fehle, nämlich die freie Beweglichkeit seiner (zwar nicht mehr angeketteten, aber noch immer ein-

gesperrten) Molekeln. Diejenigen von ihnen, welche von Wassermolekeln abgetrennt wurden, die in der Oberfläche selbst lagen, mögen wohl ihren Weg zur Vereinigung mit der atmosphärischen Luft gefunden haben — aber von dieser vollständig verschwindenden Minorität lohnt es sich eigentlich gar nicht, zu reden. Für alle anderen, d. h. für alle durch den Stoss frei gewordenen Gasmolekeln gilt wohl ohne weitere Erörterung der Satz, dass der Auftrieb, den sie bei den Dimensionen, die ihnen zukommen, zu erreichen vermögen, nicht auslangt, um ihnen eine Geschwindigkeit des Aufsteigens zu verschaffen, welche merklich von Null abweicht, so dass das gesammte, durch den Stoss in Freiheit gesetzte Gas längst wieder von der Flüssigkeit in der alten Weise gebunden, und zur Wiederherstellung einer echten Lösung gezwungen worden ist, ehe eins von den in merklicher Entfernung von der Oberfläche befindlichen Gasmolekeln Zeit hatte, diese zu erreichen. — Wenn wir auch nicht zufolge der S. 118 vorgebrachten Bemerkung wüssten, dass die Wirkung des Stosses auf das Wasser, in der wir jetzt die instantane Ueberführung einer echten Lösung in eine Juxtaposition, eine vermuthlich molekulare Mischung erblicken, eine so flüchtige ist, dass von ihr kaum mehr etwas übrig ist, wenn eine ganze Minute nach der Ertheilung des Stosses verstrichen ist — wenn wir das auch nicht schon wüssten, so würden wir doch nichts anderes uns vorstellen, als dass eine Lösung sich um so schneller vollzieht, je günstiger die, sie bedingenden Umstände sind. Diese sind aber durch den Zustand, der durch den Stoss geschaffen wurde, wohl auf ihr Optimum gebracht, wie ich kaum erst zu begründen brauche: es ist demnach auch nicht weiter unverständlich, dass man von der Wirkung des Stosses, wenn kein Vacuum über dem Wasser steht, überhaupt nichts sieht. Ist aber im Moment des Stosses ein Vacuum da, oder wird ein solches kurz nach dem Stoss angebracht, so brauchen wir bloss an die Leichtigkeit, mit der sich Hohlräume im Innern einer Flüssigkeit unter diesen Umständen an allen Stellen ausbilden, zu denken, um zu begreifen, dass in der ganzen Masse des Wassers die frei gemachten Luftmoleküle sich sehr rasch zu kleinen Luftbläschen vereinigen, die durch ihr gleichzeitiges Auftreten an allen Stellen der Flüssigkeit das Aufschäumen hervorbringen. Je grösser diese Luftbläschen sind (unter normalem Druck), desto weniger ist die in ihnen vorhandene Luft dem Wiederaufgelöstwerden im Wasser unterworfen, wie folgendes Experiment bestätigt. Eine Pravaz'sche Spritze wird — wie früher angegeben — mit Wasser beinahe gefüllt, dann mit der verschlossenen Mündung nach oben,

nach Herstellung des Vacuums, mit dem Stempelende auf einen Tisch aufgestossen. Während nun die Wassermasse schäumt, schiebe man den Stempel wieder hinein; — sofort hört das Brausen auf, die Bläschen werden ungemein verkleinert, verschwinden aber nicht mehr ganz, und steigen wegen ihrer Kleinheit so langsam empor, dass, wenn man den Kolben wieder ganz herauszieht, das Brausen sofort wieder eintritt — so zu sagen, da wieder anhebt, wo es vorher unterbrochen wurde.[1]) Ich unterdrücke ein weiteres Eingehen in die physikalischen Folgerungen aus den mitgetheilten Thatsachen, und beschränke mich darauf, das Ergebniss des in diesen Blättern bisher Entwickelten in folgende Worte zusammenzufassen: Wird eine gashaltige Flüssigkeit von einem Stosse betroffen, so verliert sie infolge der Erschütterung den Charakter einer echten Lösung, der bisherige Verband der Molekeln wird aufgehoben, und die Gasmolekeln liegen frei zwischen denen der Flüssigkeit vertheilt. Eine der Consequenzen aus diesem Umstande, welche zugleich geeignet ist, ihn in sinnfälliger Weise darzulegen, ist das Verhalten einer solchen Flüssigkeit bei Verminderung des auf ihr lastenden Druckes.

Bekanntlich sind es die rothen Blutzellen, speciell das in ihnen enthaltene Hämoglobin, welche den Gasaustausch zwischen Blut und Lungenluft im wesentlichen vermitteln. Es findet aber auch in den Lungencapillaren ein den Diffusionsgesetzen unterworfener Austausch statt zwischen den im Blutplasma enthaltenen Gasen und der Alveolarluft, welcher keineswegs zu vernachlässigen ist, neben demersterwähnten. Nur von dem Austausch zwischen Luft und Plasmagasen wird im Folgenden die Rede sein.

Caeteris paribus ist natürlich der Diffusionsvorgang in der Lunge um so lebhafter, je geringer die Kräfte sind, welche das Plasmagas im Plasma zurückzuhalten streben. Es kann also kaum ganz bedeutungslos sein, wenn die — wie bekannt — nichts weniger als unbeträchtliche Kraft, mit welcher das Plasma die in ihm gelösten Gase festhält, während des ganzen Lebens ohne Unterbrechung stets in der in die Lunge eintretenden, und in der in ihr vorhandenen Blutmenge, zufolge einer, soweit wir sie nur zu verfolgen vermögen,

---

[1]) Dieser Versuch fällt oft schöner aus, wenn man das Brausen benutzt, welches nach dem zweiten oder gar dritten solchen Stoss in derselben Wassermasse entsteht, als das durch den ersten Stoss bewirkte, welches für diesen Zweck zu stürmisch zu sein pflegt.

höchst zweckmässigen Einrichtung, überwunden ist; so dass die die Lunge betretende Blutflüssigkeit das Gas, welches sie abzugeben hat, schon hat müssen fahren lassen, ehe sie die Lunge selbst betrat, und es nun in einer solchen Weise mit sich führt, dass es widerstandslos, und für den Diffusionsvorgang in der geeignetsten Verfassung, abgegeben werden kann. Denn ich glaube mit Recht in der Verwandlung einer echten Gaslösung in eine Flüssigkeit, in der das Gas nur suspendirt ist, eine ebenso wirkungsreiche Vorbereitung für einen Diffusionsact zu erblicken, wie diese Umwandlung in unseren Versuchen als begünstigend für die gänzliche Entgasung der Flüssigkeit sich erwiesen hat. Es handelt sich nur um eine andere, übrigens sehr ähnliche Consequenz aus demselben Zustand. An Stelle des Vacuums in den Versuchen tritt in der Lunge ein chemisch von dem in der Flüssigkeit enthaltenen, verschiedenes Gas. Bei allen unseren Versuchen war die freie Oberfläche des Wassers verschwindend klein, es konnte also das Freigewordensein der Gasmolekeln zu nichts anderem führen, als zu einer Vereinigung derselben mit einander zu wirklichen Bläschen, die nicht vor sich gehen konnte, solange die Gasmolekeln mit denen des Wassers so fest verbunden waren, wie es eben in der echten Lösung der Fall ist. Das Vacuum an und für sich zeigte sich der Lösung gegenüber unfähig, ein Aufschäumen zu bewirken, und die Abgabe der Hauptmasse der Luft zu veranlassen.[1]) In der Lunge, wo die Flüssigkeit

[1]) Mit folgenden Worten beabsichtige ich durchaus keine Ansicht auszusprechen, deren Vertretung ich übernehme; noch weniger möchte ich sie dahin missdeutet sehen, als wäre eine Entscheidung der schwierigen und verwickelten Frage nach der Bindungsweise der Kohlensäure im Blut, oder auch nur im Plasma, damit beabsichtigt; ich will nur der Möglichkeit eines Vorkommnisses gedenken, und die mit der eben erwähnten Frage beschäftigten Fachgenossen zur Einbeziehung auch dieser Eventualität in den Kreis ihrer Betrachtungen veranlassen. Wenn man sich durch die Thatsache, dass die Bindung von Kohlensäure an vorher gasfrei gemachtes Blut nur für einen Theil dieses Gases den Absorptionsgesetzen gehorcht, sowie durch einige andere, bekannte Erfahrungen zur Voraussetzung einer zweifachen Art der Vereinigung berechtigt und genöthigt findet, so brauchen diese beiden Arten ja nicht nothwendiger Weise „Lösung“ und „chemische Verbindung“ zu sein. Es ist vielleicht in vielen Versuchen, die zu Schlussfolgerungen mit angewendet wurden, ein Theil der Kohlensäure nach einer Erschütterung (wie z. B. das Schütteln des Blutes allein oder mit Quecksilber) aus der Lösung befreit, und ein anderer Theil nicht befreit, oder zur Zeit, auf die es ankam, schon wieder in Lösung genommen worden. Diese beiden Theile des im Blut enthaltenen Gases werden sich in sehr verschiedenem Grade leicht auspumpen lassen. Möglicherweise liesse sich vielleicht sogar durch genauere Würdigung der mechanischen Einwirkungen auf das Blut (und auf Sodalösung) die

zu solcher Oberflächenentfaltung gelangt, und in steter Bewegung ist, wird sich der Effect des Freigewordenseins der Gasmolekeln als sehr beträchtliche Erleichterung und Beschleunigung des Diffusionsvorganges zeigen. Wie in den Versuchen das Vacuum, so ist in der Lunge die an einer grossen Oberfläche dargebotene Berührung mit einer anderen Gasart, eine Gelegenheit für das durch den Stoss in Freiheit gesetzte Gas, seine Freiheit zu benutzen, seine wiedererlangten physikalischen Eigenschaften zum Ausdruck zu bringen.

Denn den negativen Druck, dem die gestossene Blutmasse in den Lungen allerdings ausgesetzt ist, im Sinne einer die Diffusion anbahnenden Einrichtung zu verwerthen, und seine Wirkung mit der des Vacuums in den Versuchen zu vergleichen, fällt mir nicht ein — eine Schaumbildung in den Lungencapillaren würde unserer Bewunderung der Zweckmässigkeit der ganzen Einrichtung endgültig Einhalt thun, sowie sie, zahlreichen Erfahrungen gemäss, dem Leben selbst schleunigst Einhalt thut.

Wenn man an die Plötzlichkeit denkt, mit der bei Beginn der Ventrikelsystole die Muskelmasse der Kammern um deren Inhalt zusammenzuckt, wenn man die Gestalt der Druck- oder Geschwindigkeitscurven im kleinen Kreislauf berücksichtigt, das fast senkrechte Ansteigen, und die beträchtliche Höhe des ersten Stückes dieser Curven, so wird man nicht bestreiten wollen, dass das Blut, auch das in der rechten Kammer, bei jedem Herzschlag einen ganz heftigen Stoss erleidet. Und dieser Stoss wird gewiss sehr erfolgreich als Erschütterung der Flüssigkeit wirken, weil er diese eben unmittelbar trifft. Ich habe absichtlich bei der Beschreibung der Versuche hingewiesen darauf, dass nur ein Theil, und oft ein sehr kleiner Theil der angebrachten Stösse sich auf die Flüssigkeit in der Spritze übertrug, und habe mehrere Anordnungen beschrieben, bei denen die Erschütterung sich ganz in der festen Leitung fortpflanzte, ohne auf das Wasser überhaupt einzuwirken. Das ist nun beim Herzschlag nicht der Fall. Da betrifft der Stoss ganz die Flüssigkeit, und wird also an und für sich verhältnissmässig schwach sein

---

recht missliche Annahme einer freien Säure in der alkalischen Lösung, die noch dazu erst dann wirkt, wenn ein Vacuum über dem Flüssigkeitsspiegel steht, vermeiden! Bevor irgend ein anderer Schritt in der Richtung der eben ausgesprochenen Muthmassung gemacht wird, müsste vor Allem untersucht werden, wie die ohne Stoss und wie die nach erlittenem Stoss aus Serum und Blut an ein Vacuum abgegebenen Kohlensäure-Mengen mit den Absorptionsgesetzen zusammenhängen, mit den Druckgrössen, unter denen das Gas von der Flüssigkeit aufgenommen wurde u. s. w.

dürfen — was er übrigens, im Vergleiche mit den wirksam befundenen Stössen bei manchen Versuchsanordnungen, durchaus nicht ist.

Ferner bin ich überzeugt davon, dass für das Blut des kleinen Kreislaufes nicht nur der Stoss in Betracht kommt, den es vor dem Eintritt in die Lunge direct erlitten hat, sondern wir wissen und verstehen auch aus den besonderen Verzweigungsverhältnissen, aus der Kürze des Weges, dass sich der Stoss, den der rechte Ventrikel seinem Inhalte ertheilt, vielfach und unter sehr verschiedenen Umständen in den Lungencapillaren, als deren „Puls" hat beobachten lassen. Ob nun ein solcher Puls, in dem Sinne, dass er mit einer Aenderung des Lumens verbunden ist — etwa nur für die direct aus kleinen Arterien gespeisten — Lungencapillaren ein physiologisches Vorkommen sei, mag dahingestellt bleiben; dass sich der scharfe Stoss, den der rechte Ventrikel zur Zeit des Tricuspidalschlusses seinem Inhalt ertheilt, bis in die Lungencapillaren hinein fortpflanzt, ist ganz unfraglich, und ebenso scheint mir kein Zweifel daran zu bestehen, dass nicht nur der Stoss, den das Blut im rechten Ventrikel direct empfing, für die Befreiung der Plasmagase von Bedeutung ist, und die Gaslösung in eine „Suspensionsflüssigkeit" umwandelt, sondern dass auch die in der Blutmasse selbst fortgepflanzten Stösse, welche diese Suspensionsflüssigkeit später in rascher Aufeinanderfolge immer wieder empfängt, insoferne nicht unwichtig sind, als sie gewiss jeder Wiedervereinigung der befreiten Gasmolekeln mit dem Plasma, jedem Beginn der Wiederherstellung einer echten Lösung entgegenwirken. Uebrigens ist die Zeit zwischen einer Systole, und dem Eintritt des durch sie zunächst in die grossen Lungengefässe geworfenen Blutes in die Lungencapillaren selbst, nicht ausreichend zur Wiederauflösung der befreiten Gase in erheblichem Maasse, — nach den Erfahrungen, die ich bei meinen Versuchen gemacht habe.

Um von der Heftigkeit des Stosses, den der rechte Ventrikel dem Blute ertheilt, eine zutreffende Vorstellung zu gewinnen, wolle man nur bedenken, dass sich dieser Stoss sehr gewöhnlich — auch bei ganz gesunden Individuen, deren Herzklappen tadellos schliessen — so weit nach rückwärts fortpflanzt, dass er einen ganz deutlichen Puls der Vena jugularis communis veranlasst, der ja vielfach Gegenstand der Beobachtung und Untersuchung von Seiten der Kliniker und der Physiologen gewesen ist. So hat bekanntlich Friedreich Pulscurven von der Vena jugularis communis veröffentlicht. An solchen, von Gesunden herstammenden Curven verläuft oft das Stück,

welches dem Moment des Verschlusses der Tricuspidalklappe entspricht, nahezu vertical von unten nach oben in beträchtlicher Aus dehnung! Uebrigens sind alle diese Dinge viel zu bekannt, als dass ich nöthig hätte, mich noch länger bei ihnen aufzuhalten. — Ein nicht zu verkennender Mangel dieser Arbeit liegt darin, dass keine directen Versuche über die Beförderung der Diffusion durch einen Stoss auf die gashaltige Flüssigkeit angeführt sind. Es müsste sich ja auch diese Consequenz aus der Befreiung des Gases aus dem Zustande des Gelöstseins durch Experimente anschaulich machen lassen. Aber solche Versuche bieten aussergewöhnliche Schwierigkeiten dar, und setzen, nebst sehr vollkommenen und schwer erreichbaren Mitteln, einen solchen Aufwand von Zeit voraus, dass unter den gegebenen Verhältnissen gar nicht daran zu denken war, sie so rasch durchzuführen, dass sie noch dieser Schrift hätten zu Nutze kommen können. Es scheint mir übrigens auch ohne sie hinreichend die Ansicht unterstützt zu sein, dass eine nicht unwichtige Wirkung des Herzschlages in der Vorbereitung des venösen Blutes für die Respiration liege, welche Vorbereitung darin besteht, dass die im Plasma gelösten Gase durch den Stoss, den der rechte Ventrikel bei der Systole seinem Inhalte ertheilt, in der auseinandergesetzten Weise aus der Lösung befreit, und dadurch in einem für den Vorgang der Diffusion geeigneteren Zustand versetzt werden.

Der Gegenstand der in diesen Blättern enthaltenen Erörterung mag vielleicht auf den ersten Blick geringfügig, wenn nicht gar gleichgültig scheinen — insbesondere mag im Vergleiche mit der Rolle, welche das Hämoglobin bei der Respiration spielt, die von uns betrachtete Wirkung des Herzschlages Manchem nebensächlich und unwichtig dünken.

Dem ist aber nicht so, sondern es ist vielmehr die Bedeutung dieses Vorganges (und somit auch der ihn bedingenden Einrichtungen) für den ganzen respiratorischen Gaswechsel eine so fundamentale, dass ich nicht anstehe, zu behaupten: ohne jene Einrichtungen wäre unser Leben nicht zwei Minuten lang zu erhalten.

Und ich hege die grösste Zuversicht, dass diese Behauptung nicht zu kühn genannt werden wird, wenn ich im Folgenden die Ueberlegung, die mich zu diesem Schlusse geführt hat, und die nach-

träglich zur Befestigung desselben, und zur Bekräftigung seiner Richtigkeit angesammelten Gründe vorgebracht haben werde.

1. Die Ansicht dürfte kaum einen Widerspruch erfahren, dass — Angesichts der colossalen Ansprüche der Körpermasse an den Gaswechsel — ungeachtet der in der Lunge zu so ansehnlicher Grösse entfalteten Diffusionsfläche, die dem Blute daselbst zugemessene Diffusionszeit bei Weitem nicht ausreicht zur Umwandlung des benöthigten Blutquantums aus dem venösen in den arteriellen Zustand, wenn keine anderen, als die Kräfte der Diffusion sich an dieser Arbeit betheiligen. Denn der Bedarf der Organe bedingt, bei gegebener Dichte ihres Capillarnetzes, die Geschwindigkeit des Strömens in letzterem, welche nothwendig ist, um die Leistung der Organe zu ermöglichen. Von dieser Geschwindigkeit hängt aber unmittelbar das Erforderniss an Geschwindigkeit des Regenerationsvorganges ab, und mit diesem steht wieder — bei gegebener Grösse und Einrichtung der Lunge — die Geschwindigkeit des Blutstromes in den Capillaren der Lunge in augenscheinlichem Zusammenhang Doch wird sich durch blosse Steigerung dieser letztgenannten Geschwindigkeit nicht jeder beliebig hohe Betrag des anfänglich genannten Bedarfes der Organe erreichen oder bedecken lassen. Dem Anscheine nach ist nun der Lunge in unserem Körper, sowie der Blutbahn in jedem einzelnen Organe, die Raumquote so sparsam zugemessen, die zu ihrer Unterbringung bestimmt ist, dass die, bei aller Ausnutzung dieses Raumes, in der Lunge erzielte Contactfläche und Contactdauer nicht entfernt auslangen zur Lüftung des Blutes, wenn nämlich die „specifische Lüftungsgrösse“ — das ist die gesammte, während der Zeiteinheit durch die Flächeneiheit durchtretende Gasmenge — in der Lunge von der Grössenordnung ist, welche für die Diffusion zwischen einem gelösten und einem freien Gase charakteristisch ist.

Soll also die vorhandene anatomische Einrichtung der Lunge für eine Leistung derselben brauchbar sein, die dem Bedarfe des Gesammtorganismus entspricht, so ist eine sehr ausgiebige Erhöhung der „specifischen Lüftungsgrösse“ wohl die einzig denkbare Lösung dieses Problemes. Es werden also sehr vielmal grössere Mengen von Sauerstoff und Kohlensäure in jeder Secunde durch jedes Quadratmillimeter Capillarwand ein- und ausdringen müssen, als unter dem Einfluss der blossen Diffussionskräfte der Fall wäre: es wird — mit anderen Worten — ebenso eine Kraft nothwendig sein, welche den Eintritt des Sauerstoffes ins Blut beschleunigt, als es nothwendig sein wird, dem Austritte der Kohlensäure aus dem

Blut auf irgend eine Weise eine analoge Beförderung zu verleihen.

2. Die Umstände, auf welchen jene Beschleunigung des Durchtrittes der beiden Gase durch die Alveolar- oder Capillar-Wand beruht, brauchen natürlich nicht dieselben zu sein für den Sauerstoff und für die Kohlensäure; doch lässt sich mit Sicherheit voraussehen, dass jeder dieser Umstände von so wesentlicher Bedeutung für den ganzen Vorgang der Respiration, und besonders für die Athmung jenes Gases, dessen Bewegung er beschleunigt, sein muss, dass erst die genaue Kenntniss und die volle Würdigung dieser präsumtiven Umstände ein befriedigendes Verständniss der Respiration ermöglichen wird.

In der That bestand die grösste Verwirrung; es war nicht die geringste Uebereinstimmung zwischen Berechnung und Beobachtung zu erzielen, so lange man die Athmung als einen blossen Fall der Diffusion zwischen Gaslösungen und freien Gasen betrachtete.

Da kam auf einmal Licht und Ordnung und Einklang mit der Theorie in die Sache, soweit sie den Sauerstoff betrifft, als man in seiner chemischen Affinität zum Hämoglobin jene Kraft gefunden hatte, welche seinen Eintritt ins Blut so ausserordentlich beschleunigt. Im Zusammenhange mit derselben Bedingung also, durch deren Einfluss die in der Lunge gegebene Berührung des Blutes mit der Luft ausreicht zu einer dem Erforderniss entsprechenden Oxydation des Blutes, haben sich alle übrigen physiologischen Beziehungen zwischen Sauerstoff und Blut verstehen lassen.

3. Für unsere Einsicht in die Verhältnisse, unter denen sich die Kohlensäure-Abgabe vollzieht, wurde aber durch jene Entdeckung nichts gewonnen; es wurde möglicherweise sogar — durch eine unbewusste, der Analogie oder Symmetrie beider Processe dargebrachte Huldigung — eine nicht ganz gerechtfertigte Betonung jener Argumente veranlasst, welche die Annahme einer lockeren chemischen Bindung eines Theiles der im Blute überhaupt vorhandenen Kohlensäure unterstützen. Nicht, als ob ich diesen Argumenten ihr Gewicht streitig zu machen gedächte — aber es will mir scheinen, als habe man sich in der Verfolgung dieser Richtung allmählich so weit von dem ursprünglichen Ziele entfernt, und als habe man beim principiellen, unermüdlichen Nachspüren nach den verschiedensten, irgendwie auf jene lockere, chemische Bindung der Kohlensäure zu beziehenden Phänomenen, in allzufestem Vertrauen auf ihre Bedeutung für die Kohlensäure-Exhalation, sich in zahl-

reichen Versuchen soweit von den physiologischen Verhältnissen des Druckes, der Temperatur, der chemischen und physikalischen Natur der Flüssigkeit entfernt, dass von den im venösen Blute und in der Lunge verwirklichten Bedingungen keine einzige sich mehr erhalten vorfand in den Bedingungen der Versuche, deren Zusammenhang mit dem Ausgangspunkte der Forschung, nämlich mit der physiologischen Frage nach dem Vorgange bei der Athmung dadurch allmählich immer lockerer wurde. Nur so ist es zu erklären, dass von dem dunkelsten und fragwürdigsten Punkte in der Lehre von der Ausscheidung des Gases aus dem Lungenblute so gut wie gar nicht mehr die Rede war. Wäre man sich der Schwierigkeit bewusst geblieben, die sich dem Verständnisse der Exhalation so beträchtlicher Kohlensäure-Mengen, wie sie thatsächlich ausgeathmet werden, widersetzt, wenn man dieselben als gelöst im Lungenblute, und ausgeschieden durch die Diffusionsbewegung gegen die Lungenluft ansehen will, so hätte es kaum fehlen können, dass man statt sich auf chemische Vorgänge zu beschränken, alle erdenklichen Momente unter den vorhandenen Umständen zur Erklärung probeweise herangeholt hätte, und da hätte sich dann sehr bald das mechanische Moment — die Erschütterung, die das Blut beim Herzschlag erleidet — als das maassgebende herausstellen müssen.

4. Liegt denn nicht folgender Gedanke unendlich nahe, und ist er nicht allen Zweifeln entrückt? Nimmt man einem Menschen — oder einem anderen Warmblüter — die Beschleuniger der Sauerstoffzufuhr, die rothen Zellen aus seinem Blute, so dass dieses mit seiner Sauerstoffaufnahme nunmehr auf die Diffusion in der Lunge allein angewiesen ist, so stellt sich bekanntlich binnen kürzester Bälde die Unzulänglichkeit des Diffussionsstromes zwischen der Flüssigkeit und der Luft in der Lunge für die erforderliche Sauerstoffaufnahme heraus. Das dem Versuche unterzogene Thier stirbt sofort an Erstickung.

Soll nun die zum grössten Theil im Plasma gelöste, dem eingeathmeten Sauerstoffquantum beinahe gleiche Kohlensäuremenge aus dem Blute in die, einen relativ hohen CO_2-Partialdruck besitzende Alveolarluft mit einer analogen Beschleunigung der Diffusionsgeschwindigkeit durch die Capillarwand eintreten, wie sie für eine ergiebige Sauerstoffathmunng sich als unerlässlich erwiesen hat; so ist wohl der, von vornherein für die Kohlensäureabdunstung bestehenden Ungunst der Verhältnisse durch keine andere Veranstaltung in so geeigneter Weise abzuhelfen, wie durch die, von der wir nachgewiesen haben, dass sie in der Natur verwirklicht ist.

An der Vollständigkeit und Richtigkeit dieses Nachweises, den ich aus dem Verhalten von Flüssigkeiten, über denen ein Vacuum steht, für unseren Fall der Diffusion abgeleitet habe, kann aber gar nicht gezweifelt werden, umsoweniger als ich mich, bei Wiederholung dieser Versuche an kohlensäurehaltigem Blutserum, in den letztverflossenen Tagen von dem Eintreten der beschriebenen Wirkung eines Stosses auch in diesem speciellen Falle direct überzeugen konnte. Die bei Anbringung eines Vacuums beobachtete, ausserordentliche Beschleunigung der Entgasung durch einen Stoss, hat ja, nach den Gesetzen über das Verhalten differenter Gase zu einander, und über die Bedeutung des Partialdruckes, ohne irgend eine Einschränkung, die analoge Beschleunigung der Diffussion des Gases aus solchen Flüssigkeiten in einen von anderen Gasen erfüllten Raum zur Folge. Und wenn, bei dem Partialdruck der Kohlensäure in der Alveolarluft, die in den Lungen gebotene Contactgelegenheit eben gerade hinreichte zur Decarbonisirung des vom Stoss des rechten Ventrikels erschütterten Venenblutes, so unterliegt es auch keinem Zweifel, dass ohne diesen Stoss der Uebertritt von Kohlensäure aus dem Blut in die Lungenluft nur in einem ausserordentlich viel geringeren, also zur Unterhaltung des Lebens völlig unzureichenden Maasse stattfinden würde.

Hiermit glaube ich, meine Behauptung von der grossen Wichtigkeit dieser Einrichtung für den Bestand des Lebens gerechtfertigt zu haben.

Folgende zwei Bemerkungen mögen schliesslich hier noch ihren Platz finden.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass manche Fälle von Cyanose, sowohl bei ungenügender Herzarbeit, wie auch in gewissen Stadien des Verlaufes von Klappeninsufficienzen, ihre nächste Ursache nicht in der unzureichenden Durchströmung der Lungengefässe, sondern in der unzulänglichen Kraft des Stosses haben, den die Wand des rechten Ventrikels seinem Inhalte ertheilt — zu Folge mangelhafter Energie der Herzarbeit, oder zu Folge mangelhaften Abschlusses der Ventrikelhöhle gegen den Vorhof.

So einfach sonst das Herz der Fische gebaut ist, besitzt es doch eine Einrichtung, die den Herzen höher stehender Thiere fehlt: den Bulbus arteriosus. Bei den Fischen kommt bekanntlich das Blut aus dem ganzen Körper zuerst in einen gemeinsamen Venensack, einen Vorhof, von da in eine Kammer, und aus der Kammer in einen Sack mit äusserst elastischen Wänden: das ist der Bulbus arteriosus; von da gelangt das noch immer ganz venöse Blut in die

Kiemenarterien und deren capillare Verzweigung in den Kiemenblättern, woselbst es sich arterialisirt. Aus den Kiemen fliesst es wieder in ein System sich vereinigender Röhren, aus welchem dann erst die Körperarterien hervorgehen. — Uns interessirt hier nur der, zwischen den Ventrikel und die Respirationscapillaren eingeschaltete elastische Sack. Dieser Bulbus, dessen Anwesenheit eine Umwandlung der stossweisen Bewegung des Blutes in eine einfach strömende zur Folge hat, hebt natürlich die Wirkung des Ventrikelstosses auf die Art der Bindung des Gases im Blut wieder auf, so dass dieses die Kiemencapillaren wieder als echte Lösung durchfliesst. Und dies ist gerade nur bei den Fischen der Fall, die im Wasser leben, die also ihr Blutgas gegen ein gleichfalls in Lösung befindliches Gas umzutauschen haben, für die also die Befreiung der Kohlensäure aus dem gelösten Zustand in Folge des Herzschlages nicht nur ohne Nutzen, sondern vermuthlich nachtheilig wäre! — Es drängt sich mir im Anschluss an diese unerwartete, aber gewiss sehr laut und deutlich für meine Theorie sprechende Einsicht in die Natur der Wasserathmung eine Erklärung auf, für das unverständlich rasche Ersticken der Fische in der Luft. Denn die übliche Redensart, welche meistens dieser Frage zur Antwort dienen soll, dass die Kiemen an der Luft vertrocknen müssen, beruht weder auf Beobachtung, noch auf richtiger Ueberlegung. Die Verkleinerung der freien Oberfläche, welche aus dem Aneinanderliegen der feinsten Kiemenblätter folgt, wenn kein Wasser mehr da ist, um sie auseinander zu spülen, mag in den meisten Fällen schon allein genügen zur Erklärung des Erstickens — aber es giebt Fische mit so steifen Kiemenblättern, dass ihre ganze Oberfläche der Berührung der Luft ausgesetzt wird, so oft der Fisch den Kiemendeckel aufhebt, und für diese Fälle scheint mir das Wesentliche eben darin zu liegen, dass die Gase des Fischblutes, wegen der Wirkung des Bulbus arteriosus, nicht zum Austausch gegen freie Gase vorbereitet sind, und folglich im Blute bleiben müssen. — Doch sei dem, wie immer: die Thatsache, dass die Wirbelthierklasse, die keine gasförmige Luft athmet, eine besondere Vorrichtung besitzt zur Aufhebung der Stosswirkung des Herzens auf das venöse Blut, bleibt jedenfalls eine im Sinne meiner Theorie sehr bedeutungsreiche!

Wien, 28. September 1886.

B. Physiologisch-Optisches.

Ueber eine optische Eigenschaft der Cornea.

(Aus den Sitzb. der k. Akad. der Wissenschaft zu Wien. Bd. LXXXII. Abth. 3.
Vorgelegt am 1 Juli 1880.)

Drückt man einen frischen, enucleirten Augapfel von den Seiten her zusammen oder steigert man sonst auf irgend eine Weise in ihm den intraoculären Druck, so wird seine Hornhaut undurchsichtig. Lässt man den auf den Bulbus ausgeübten Druck allmälig anschwellen, so kann man beobachten, dass mit zunehmendem Drucke auch die Trübung der Hornhaut ganz allmälig zunimmt; presst man hingegen den Bulbus mit einem plötzlichen Ruck zusammen so sieht man die Cornea aus ihrem normalen glasartigen Aussehen so rasch in ein porzellanartiges Aussehen übergehen, und bei plötzlichem Nachlassen des Druckes sieht man sie so rasch wieder ihre glasartige Beschaffenheit annehmen, dass die Zeit, welche für den Uebergang aus dem einen in den anderen Zustand benöthigt wird, nicht unmittelbar wahrgenommen werden kann.

Obwohl dieses sehr auffallende Phänomen mit so einfachen Mitteln zur Anschauung gebracht werden kann; obwohl es sich bei krankhaften Steigerungen des intraoculären Druckes im lebenden Auge von selbst der Beobachtung darbietet und obwohl es von maassgebender Seite zur Erklärung der „Trübung der Augenmedien“ beim Glaucom herangezogen wurde — ist doch meines Wissens noch nicht einmal ein ernster Versuch zur Erklärung des Phänomenes selbst gemacht worden.

Dass diese Trübung in zahlreichen Reflexionen im Innern der Hornhaut ihren Grund habe, dass solche Reflexionen auf das Vorhandensein von zwei Substanzen mit verschiedenen Brechungsverhältnissen in der getrübten Cornea schliessen lassen, versteht sich

von selbst; es fragt sich nur: welches jene Substanzen sind; und auf welche Weise jene Verschiedenheit in von vorn herein identischen oder nahezu identischen Brechungsverhältnissen hevorgebracht wird. Denn da die Cornea auch im vollkommen normalen Zustande nicht absolut durchsichtig ist, da vielmehr beim Eindringen starken, etwa durch eine Sammellinse concentrirten Lichtes in ihre Substanz eine merkliche Quantität davon aus ihrem Innern reflectirt wird, liegt es nahe, anzunehmen, dass die starke durch Steigerung des intraoculären Druckes hervorgebrachte Trübung der Cornea denselben — nur in erhöhtem Maasse wirksamen — Ursachen ihre Entstehung verdankt, durch welche auch die natürliche, unter gewöhnlichen Verhältnissen unmerkliche Trübung der Cornea hervorgerufen wird.

Um die Theilnahme der übrigen durchsichtigen Medien des Auges an der bei Druck auftretenden Trübung auszuschliessen, schnitt ich an einem möglichst frischen Ochsenauge die Cornea mitsammt einem etwa ein Centimeter breiten Scleralrande heraus und band sie über das offene Ende eines kurzen hohlen Glascylinders, derart, dass von dem schnürenden Faden nicht die Cornea selbst sondern der an ihr gelassene Rest der Sclera erfasst wurde. Die Ränder der Oeffnung des Cylinderchens waren ein wenig aufgeworfen, um ein Abgleiten des Verbandes unmöglich zu machen. Am anderen Ende war der Glascylinder verschlossen, und seitlich setzte sich seine Höhlung in einen kurzen Rohransatz fort, durch welchen er mit Wasser gefüllt wurde. An diesen Ansatz wurde dann ein Kautschukrohr angesteckt und durch dieses entweder mittels einer Spritze oder mittels einer Druckflasche der Druck im Innern des Glascylinders gesteigert. Hiebei wölbte sich natürlich die Cornea hervor und man konnte deutlich beobachten, wie sie mit wachsendem Drucke immer trüber und undurchsichtiger wurde; ganz so wie wenn sie sich in ihren natürlichen Verbindungen befände. Es war nicht undenkbar, dass bei diesen Versuchen in den Momenten starker Hervorwölbung der vorderen Hornhautfläche die Elemente des diese Fläche überziehenden Epithel's auseinanderwichen und Luft in die so entstehenden Spalträume eindrang und hiedurch das Trübwerden veranlasst wurde. Als ich jedoch das Glasröhrchen mit der über seine Mündung gebundenen Cornea unter Wasser senkte und nun den inneren Druck steigerte, trat das Phänomen der Trübung ganz so auf, wie wenn der Versuch in der Luft angestellt wurde. Auch kann man das ganze Hornhautepithel durch Abschaben entfernen, ohne dass dadurch die Erscheinung im min-

desten verändert würde; ja ich habe bei gewissen später zu beschreibenden Versuchen an der Ochsencornea sowie an der Froschcornea regelmässig vorher das ganze Epithel abgenommen.

Nun betrachtete ich die über den Cylinder gebundene und durch Wasserdruck gespannte Cornea zwischen gekreuzten Nicol's oder bequemer zwischen einem ebenen Spiegel aus schwarzem Glase als Polariseur und einem grossen Nicol'schen Prisma als Analyseur. Eine nicht gespannte, mit äusserster Schonung präparirte, ohne Zug und ohne Falten über eine convexe Fläche gebreitete Cornea zeigt sich im polarisirten Lichte ziemlich isotrop — jede Falte, jede vorangegangene unsanfte Berührung verräth sich zwischen gekreuzten Nicol's durch eine weissliche, jeder stärkere Insult durch eine farbige Stelle. Die regelmässig durch den Wasserdruck auf die Innenfläche gespannte Cornea jedoch zeigt sich im dunklen Gesichtsfelde der gekreuzten Nicol's als weisse Scheibe mit einem rechtwinkligen schwarzen Kreuz, dessen beide Balken den Polarisationsebenen der beiden Nicol'schen Prismen parallel stehen. Die Balken haben die Länge eines Durchmessers der weissen Scheibe und gehen an ihren Seiten mit verwaschenen Rändern in die weisen Theile des Gesichtsfeldes über. Sie sind um so deutlicher, je höher der Druck ist, durch welchen die Cornea gespannt wird und um so reiner, je regelmässiger die Spannung über die Cornea vertheilt ist; es ist also wichtig, beim Aufbinden der Hornhaut jede Falte und jede vorwiegende Spannung in einer bestimmten Richtung zu vermeiden. Bei Drehung der gespannten Cornea um ihre Axe zwischen den gekreuzten Nicol's behält das dunkle Kreuz seine Lage unverändert bei, bei Verschiebung der Hornhaut im Gesichtsfelde wandert das Kreuz mit der Cornea.

Eine andere Art, analoge Erscheinungen hervorzurufen, ist die folgende. Man breitet die frisch herauspräparirte Hornhaut oder ein Stück derselben, so gut es geht, auf einer Glasplatte aus und sieht sie zwischen gekreuzten Nicol's an. Wie bereits früher erwähnt wurde, sieht sie an den von Druck oder Zug freigebliebenen Stellen unter diesen Umständen dunkel aus. Während man nun eine solche Stelle fixirt, setzt man mit der einen Hand eine abgerundete Spitze auf dieselbe und übt einen gewissen Druck senkrecht gegen die Oberfläche der vorher von ihrem Epithel befreiten Hornhaut aus. Sofort erscheint in unmittelbarer Umgebung der drückenden Spitze ein heller Hof, welcher aber durch ein schwarzes Kreuz in vier Theile getheilt ist. Auch dieses Kreuz ist so orientirt wie die Nicol's.

Diese Erscheinung ist jedoch zum Unterschiede von der früher beschriebenen nicht anhaltend, sondern verblasst allmälig, selbst wenn der Druck, der sie anfänglich hervorgerufen hatte, andauert. Andererseits bleiben mehr oder minder deutliche Spuren des Phänomens manchmal noch sichtbar, nachdem man die drückende Spitze von der Cornea zurückgezogen hat. Dieser Erscheinung entspricht an der im gewöhnlichen Lichte betrachteten Cornea zu Beginn des Druckes das Auftreten eines trüben, undurchsichtigen Hofes um die drückende Spitze herum, welcher allmälig undeutlicher wird — zu Anfang jedoch gegen die klare Umgebung sehr scharf abgesetzt erscheint. —

Die Fähigkeit, im polarisirten Lichte eigenthümliche Reactionen zu geben, kommt bekanntlich den anisotropen Mitteln zu; aus den bisher mitgetheilten Beobachtungen geht also hervor, dass der Hornhaut durch Druck und Spannung Doppelbrechung verliehen wird; doch ist ohne Weiteres der Zusammenhang dieser letzteren Eigenschaft mit der gleichzeitig in der Cornea auftretenden Trübung nicht klar.

Bekanntlich geben Platten einaxig doppelbrechender Mittel, deren Begrenzungsflächen normal zur optischen Axe sind, zwischen gekreuzten Nicol's ein helles Gesichtsfeld mit einem dunklen, den Nicol's parallel orientirten Kreuze und ausserdem ein System concentrischer Ringe von Interferenzfarben — doch kann der Radius des innersten dieser Ringe so gross sein, dass, wenn man nur den mittelsten Theil des ganzen Phänomens überblickt, die Ringe sich gänzlich der Wahrnehmung entziehen. Trotzdem kann nicht daran gedacht werden, das in der gespannten Cornea entstehende Kreuz auf diese Weise erklären zu wollen.

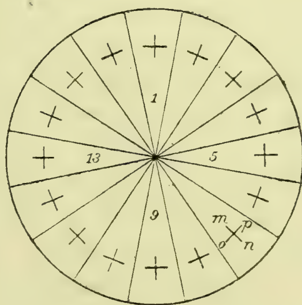
Denn erstens geben normal zur Axe geschnittene Platten nur dann das dunkle Kreuz, wenn das sie durchsetzende Bündel linear polarisirten Lichtes nicht aus parallelen, sondern aus stark divergirenden Strahlen besteht, das Kreuz in der gespannten Hornhaut erscheint aber auch im parallelen Lichte, zweitens ändert das Kreuz, welches solche Platten geben, seine Lage nicht, wenn man die Platte in ihrer eigenen Ebene verschiebt, während diess bei dem Kreuz, welches die Hornhaut giebt, der Fall ist. Auch wäre nicht einzusehen, warum die Hornhaut dadurch, dass sie eine optische Axe bekommt, undurchsichtig werden sollte.

Nun verdanken wir aber V. v. Lang die Analyse einer Erscheinung, welche an gewissen organisirten Körpern vorkommt und welche ebenfalls in dem Auftreten eines dunklen Kreuzes auf hellem Felde zwischen gekreuzten Nicol's besteht; die Provenienz dieser

Erscheinung ist ganz verschieden von der der früher besprochenen und beruht auf der eigenthümlichen Structur der betreffenden Körper.

Die von Airy vollständig gegebene Theorie des Bildes, welches eine senkrecht zur Axe geschnittene, von einem linear polarisirten Strahlenkegel durchsetzte Platte bei der Betrachtung durch ein auf die Polarisationsebene des Strahlenkegels mit seiner Polarisationsebene normal orientirtes Nicol'sches Prisma darbietet, interessirt uns hier weiter nicht; die von V. v. Lang gegebene Theorie des dunklen Kreuzes auf hellem Felde, welches Amylumkörner, die Linse des Auges und andere Körper geben, wenn sie zwischen gekreuzten Nicol's betrachtet werden, mag jedoch hier in Kürze wiedergegeben werden, da sie den Schlüssel zur Erklärung der uns beschäftigenden Erscheinungen enthält.

Man stelle sich eine kreisförmige Platte vor, welche aus lauter kleinen länglichen Elementen zusammengesetzt ist, die alle mit ihrer Längsaxe radial gegen den Mittelpunkt des Kreises gestellt sind. Jedes dieser Elemente sei doppelbrechend und es falle seine optische Axe mit seiner geometrischen Axe zusammen, sei also radial gestellt. Tritt ein gewöhnlicher Lichtstrahl in eine solche Platte ein, so wird er in dem Elemente, welches er durchsetzt, in zwei Strahlen gespalten. In dem einen der beiden Strahlen finden nur Schwingungen statt, welche radial gegen den Mittelpunkt des Kreises gestellt sind, in dem anderen Strahl nur Schwingungen, welche senkrecht auf die ersteren, also tangential gestellt sind. Es sind also jedem Elemente gewissermaassen zwei aufeinander senkrechte, in der Ebene der Platte liegende Richtungen eigenthümlich, in welchen allein Lichtschwingungen in ihm möglich sind. Diese Richtungen seien für jedes der 16 in der Figur dargestellten Elemente durch die beiden Balken des kleinen in das Element hineingezeichneten Kreuzes gekennzeichnet; und nun betrachten wir den Fall, dass nicht gemeines, sondern linear polarisirtes und zwar in der Richtung AB polarisirtes Licht von einer Seite her in die Kreisplatte eindringt. In den Elementen 1, 5, 9 und 13 finden die Lichtschwingungen je eine Schwingungsrichtung vor, welche mit der Richtung, in welcher sie von vorn herein schwingen,



zusammenfällt, sie treten also durch diese Elemente einfach gebrochen und in der Richtung AB schwingend hindurch. Treffen sie nun ehe sie in das Auge treten, auf ein optisches System, welches nur Lichtschwingungen in der Richtung CD durchlässt, z. B. auf ein parallel zu CD orientirtes Nicol'sches Prisma, so wird das Prisma für diese Lichtschwingungen undurchsichtig sein, das Auge wird dort, wo die Elemente 1, 5, 9, 13 liegen, schwarz sehen.

Betrachten wir nun einen Strahl des in die Kreisplatte eintretenden, der Annahme entsprechend parallel zu AB schwingenden Lichtes, welcher ein anderes Element, z. B. das Element 7 trifft. Dieser Strahl wird in zwei Strahlen zerlegt (doppelt gebrochen) werden; in dem einen Strahl werden die Schwingungen in der Richtung mn stattfinden, im anderen Strahl in der Richtung op. Beide Strahlen treffen, ehe sie zum Auge kommen, auf das Nicol'sche Prisma, welches nur Schwingungen in der Richtung CD durchlässt, von jedem der beiden Strahlen wird also ein Theil durch dieses Prisma durchgehen und das Auge wird den Ort des Elementes 7 in der Kreisplatte hell sehen; es wird überhaupt jedes der Elemente mit einem gewissen Grade von Helligkeit sehen, nur die vier Elemente: 1, 5, 9, 13 werden ganz dunkel erscheinen, das heisst, das Auge wird ein dunkles Kreuz im hellen Felde sehen. Dieses ist die von V. v. Lang gegebene Erklärung des dunklen Kreuzes, welches man an Stärkekörnern und anderen organisirten Objecten zwischen gekreuzten Nicol's sieht. Denn dass im Stärkekorn die mit ihren Axen radial gestellten doppelbrechenden Elemente nicht bloss in eine Kreisfläche, sondern in eine Kugel angeordnet sind, ändert, wie man leicht einsieht, nichts an der Sache. Ebenso ist es klar dass dieses dunkle Kreuz mit seinen Balken den Schwingungsebenen der beiden Nicol's parallel sein und diese Richtung auch beibehalten muss, wenn das Object um die Sehlinie gedreht wird, dass es jedoch bei einer seitlichen Verschiebung des Objectes seine Lage im Gesichtsfelde ändern muss — ganz so wie es das Kreuz thut, welches man an der gespannten Cornea sieht, und auch das Kreuz, das man an dem trüben Hof um eine gedrückte Hornhautstelle herum wahrnimmt bei der Untersuchung im polarisirten Lichte.

Wir sind also zu der Annahme genöthigt, dass bei der Spannung der Cornea durch intraoculären Druck in der ganzen Ausdehnung der Hornhaut radiär gestellte doppelbrechende Elemente auftreten, während bei einem auf einen bestimmten Punkt der Cornea ausgeübten Drucke sich solche radiär angeordnete Elemente nur in der Nähe des gedrückten Punktes vorfinden.

Nun ist es eine bekannte Thatsache, dass Substanzen, die an sich isotrop sind, durch Spannung oder Druck doppelbrechend werden; z. B. das Glas, die Leimgelatine u. s. w. Wenn nun wirklich gewisse Formbestandtheile der Cornea durch Spannung oder Pressung doppelbrechend werden, so muss sich auch entscheiden lassen, welche Formelemente dies sind. Denn dadurch, dass sie doppelbrechend sind, haben sie ja einen anderen Brechungsindex angenommen als sie früher hatten, da sie noch isotrop waren. War ihr früherer Brechungsindex dem ihrer Umgebung gleich, so dass sie unsichtbar waren, so muss jetzt ein Unterschied zwischen ihrem Brechungsindex und dem ihrer Umgebung existiren, der macht, dass Licht beim Uebergang aus diesen doppelbrechend gewordenen Elementen in ihre Umgebung, und umgekehrt, reflectirt wird, das heisst, dass die Elemente nunmehr sichtbar werden. Diese Reflexionen, welche nunmehr so häufig im Innern der Cornea stattfinden, sind auch die Veranlassung für das Trübwerden derselben. Hienach war es selbstverständlich, dass eine solche trübe Stelle der Cornea mit dem Mikroskop angesehen werden musste.

Bringt man die ihres Epithels beraubte Hornhaut eines Frosches auf einen Objectträger, betrachtet sie bei mässiger Vergrösserung und drückt sie an einem im Gesichtsfelde befindlichen Punkte mit einer abgerundeten Nadelspitze, so kann man beobachten, dass in dem Momente des Beginnes des Druckes eine radiär faserige Structur in dem bis dahin scheinbar homogenen Gewebe auftritt. Die Fasern erscheinen in einer leicht bräunlichen Färbung. Bei anhaltendem Drucke verschwindet das Bild bald wieder, wie ja auch die Trübung nicht anhält. Unbedingt würde Jedermann auf den ersten Anblick jene Fasern für Hornhautfibrillen erklären, wäre nicht die eigenthümliche radiäre Anordnung. Eine genauere Ueberlegung hilft jedoch leicht über diese Schwierigkeit hinweg. Da wir annehmen, dass jene Hornhautfasern sichtbar werden, welche doppelbrechend werden, und dass jene Hornhautfasern doppelbrechend werden, welche gedehnt werden, so ist es ganz klar, dass beim Druck auf einen Punkt der Hornhaut nur die mit ihrer Längsaxe radial gegen jenen Punkt gestellten Hornhautfasern sichtbar werden können, die anderen Fasern bleiben eben isotrop und unsichtbar. Aus der Strenge, mit welcher diese radiäre Anordnung der doppelbrechend gewordenen Fasern um einen gedrückten Punkt eingehalten wird erklärt sich auch die Schärfe, mit welcher im polarisirten Lichte das schwarze Kreuz gegen den hellen Hof, der einen solchen Punkt umgiebt, sich absetzt. Das meistens weniger scharf abgegrenzte dunkle Kreuz, welche die

im Ganzen gespannte, über die Oeffnung des Glascylinders gebundene Cornea zeigt, erklärt sich daraus, dass durch den Druck von innen her doch zumeist radiale Spannungen auftreten. Uebrigens treten an solchen Hornhäuten gelegentlich Complicationen oder Varianten der Polarisationserscheinungen auf, welche sich leicht auf das Vorhandensein von Spannungen in der Richtung eines Parallelkreises oder auf Unregelmässigkeiten in der Spannung zurückführen lassen, wie letztere ja so leicht in Folge von Ungleichheiten beim Aufbinden der Hornhaut auftreten.

Die als Ganzes durch Wasserdruck auf ihre Innenfläche gespannte Cornea zeigt die Trübung und zeigt im polarisirten Lichte das dunkle Kreuz, so lange sie gespannt ist, weil eben die Dehnung der radiärgestellten Fasern über ihre natürliche Länge so lange dauert, wie die Spannung der Cornea. Die Trübung, sowie im polarisirten Lichte das Kreuz in der Umgebung eines durch eine Spitze gegen eine harte Unterlage gedrückten Punktes verschwindet bald wieder. Dieses rührt von der Plasticität der Hornhaut her. Anfänglich führt der Druck auf eine isolirte Hornhautstelle eine elastische Deformation herbei, bei welcher also gewisse Elemente überdehnt sind. Im weiteren Verlaufe des Druckes finden Verschiebungen statt, wie in einem Teig. Die Hornhautpartien unter der gedrückten Stelle weichen nach allen Seiten aus, die Spannungen gleichen sich wieder aus, man hat eine Grube in die Cornea gedrückt, die stehen bleibt, auch wenn man jetzt die Spitze entfernt. Sehr gut lässt sich dies alles an einer Froschhornhaut zeigen, die man zwischen die Glasplatten eines Compressoriums bringt nebst einem kleinen Fragmente eines Deckgläschens. Die Stelle der Cornea, auf der der Glassplitter liegt, wird natürlich beim Zuschrauben des Compressoriums gedrückt, man sieht um die Ränder derselben eine starke Trübung auftreten, die bald nachlässt und bei jedesmaligem Anziehen der Schraube wieder stark hervortritt, bis sie endlich dauernd verschwunden ist. Das ist der Moment, in welchem der Glassplitter ganz in die Substanz der Hornhaut hineingepresst ist, wie man sich leicht überzeugt, wenn man das Compressorium nunmehr öffnet. Der Splitter lässt sich mit Nadeln aus der Hornhaut herausheben, hinterlässt aber seinen dauernden Abdruck in ihr.

Die Richtigkeit aller hier aufgestellten Behauptungen lässt sich durch folgenden Versuch beweisen. Man breitet auf dem Objecttisch des Polarisationsmikroskopes, das mit gekreuzten Nicol's ver-

sehen ist, eine Froschcornea aus und sticht möglichst steil zwei in Haltern befindliche Nadeln in sie ein in gegenseitiger Entfernung von ein paar Millimetern. Die zwischen den Nadeln befindliche Stelle muss im Gesichtsfelde des Mikroskopes (ganz schwache Vergrösserung!) sein. Zieht man nun die Nadeln auseinander, so erscheint der zwischen ihnen liegende gedehnte Streifen der Hornhaut sofort als silberweisse Strasse. Nun kann man mittels der Nadeln, während man den durch sie ausgeübten Zug fortbestehen lässt, die Hornhaut auf dem Objectträger in ihrer eigenen Ebene drehen und dabei immer die gedehnte Stelle im Gesichtsfelde halten. Man sieht dann die weisse Strasse jedesmal verschwinden, das heisst: so dunkel werden wie das übrige Gesichtsfeld, wenn man ihr ein Azimuth gegeben hat, welches mit der Orientirungsrichtung des Polariseurs oder des Analyseurs zusammenfällt, und sieht sie gleich wieder aufleuchten sobald man sie aus einer dieser beiden Richtungen herausdreht. Dieser Versuch gelingt übrigens auch, wenn man statt der Hornhaut des Frosches seine Nickhaut anwendet und selbst mit der Wand der Harnblase gelingt er, da es eben eine allgemeine Eigenschaft der thierischen Faser ist, durch Zug eine optische Axe zu bekommen; aber der Versuch gelingt am schönsten an der Hornhaut, und zwar an der ganzen Hornhaut oder an Platten, die in irgend einer Richtung aus ihr herausgeschnitten sind, weil sie von vornherein so durchsichtig ist, und ist hier auch am lehrreichsten, weil er ohne Weiteres die Erklärung enthält für das Trübwerden der Cornea durch gesteigerten intraoculären Druck.

Denn ob nun die Hornhautfasern, welche in Folge eines auf diese Membran von rückwärts her ausgeübten Druckes gedehnt und daher doppelbrechend werden, nur die radial verlaufenden oder sonst so regelmässig angeordnete sind, dass sie zum Auftreten der in diesem Aufsatze geschilderten regelmässigen Erscheinungen im polarisirten Lichte Veranlassung geben, oder ob die in der Hornhaut in allen möglichen Richtungen verlaufenden Fasern alle gleichmässig, oder ohne Symmetrie die einen stärker, die anderen schwächer gedehnt werden — die Hornhaut wird jedenfalls trübe werden müssen wegen der vielfachen Aufeinanderfolge verschieden brechender Medien, denen jeder Lichtstrahl begegnet, der in einer bestimmten Richtung auf eine solche Hornhaut fällt; denn jedesmal beim Uebergang von einem Medium zu einem Medium mit anderem Brechungsindex findet eine Reflexion statt, und ein Körper, in dessen Innerem vielfache Reflexionen des Lichtes stattfinden, lässt nur einen Bruchtheil des Lichtes und diesen nur unregelmässig durchtreten, und

sieht wegen der Menge des aus seinem Innern zurückkommenden Lichtes trübe aus. Die in Folge einer Steigerung des intraoculären Druckes auftretende Hornhauttrübung findet also in der hier nachgewiesenen Eigenschaft der Hornhautfasern, durch Spannung doppelbrechend zu werden, ihre Erklärung.

Physiologisch-optische Notizen.

(Aus dem LXXXIII. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. zu Wien. III. Abth.)
(Vorgelegt in der Sitzung am 17. März 1881.)

I.

In einem Blechschirme, der nahe und parallel der Flamme eines Schmetterling-Brenners aufgestellt wurde, befanden sich zwei runde Löcher von einigen Millimetern Durchmesser in gleicher Höhe und in einer gegenseitigen horizontalen Entfernung, welche der Distanz meiner Pupillen von einander gleichkam. Das Licht, welches von diesen beiden Oeffnungen ausging, wurde nun durch ein System reflectirender und brechender Flächen, die in unsymmetrischer Weise aufgestellt waren, derart im Raume herumgeworfen und von gewissen Stellen des Raumes abgeblendet, dass ein Auge, welches sich in einiger Entfernung vor dem Schirme hin- und herbewegte, in rascher Aufeinanderfolge, aber nach ungleichen Intervallen ein Bild einer Oeffnung erblickte. Die Gasflamme wurde übrigens so eingeschlossen, dass, ausser durch jene beiden Löcher, kein Licht von ihr den Raum erhellte, dieser also fast ganz dunkel war. Ich habe nun mit dieser einfachen Anordnung folgenden Versuch angestellt. Ich setzte mich in einer Entfernung von 1—$1^1/_2$ Meter vor den Schirm und schloss beide Augen, machte dann mit dem Oberkörper oder mit dem Kopf eine Bewegung und öffnete nun die Augen, um sie dann sofort wieder zu schliessen, achtete jedoch darauf, dass ich von dem Momente an, in dem ich die Augen für kurze Zeit geöffnet hatte, keine Bewegung mehr weder mit dem Rumpfe, noch mit dem Kopfe, noch mit den Augen machte. Bei jenem Augenaufschlag hatte ich entweder kein oder ein oder zwei Bilder gesehen, und wenn einer der beiden letzteren Fälle eingetreten war, so versuchte ich nachträglich festzustellen: für den Fall, dass ich ein einziges Bild gesehen hatte, mit welchem der beiden Augen ich es gesehen hatte, und für den Fall, dass ich zwei Bilder gesehen hatte, ob ich mit jedem Auge

eines, oder beide mit demselben Auge, und mit welchem Auge ich sie beide gesehen hatte. Die Richtigkeit meiner Vermuthungen prüfte ich dann, indem ich, ohne meine Stellung verändert zu haben, abwechselnd das eine und das andere Auge öffnete. Hiebei zeigte es sich, dass mein Urtheil ungefähr so oft falsch war, als es falsch sein musste unter der Voraussetzung, dass wir keine Kenntniss davon haben, mit welchem unserer beiden Augen wir etwas sehen; dass ich also z. B.: wenn ich bloss ein Bild erblickt hatte, ungefähr ebenso häufig auf das richtige Auge rieth, wie auf das falsche. Meine Augen wichen in der kurzen Zeit, während welcher ich sie geöffnet hielt, nicht merklich aus ihrer Parallelstellung ab, so dass ich, selbst in dem Falle, dass ich eine der beiden Oeffnungen gar nicht, die andere aber mit beiden Augen sah, Doppelbilder erhielt; diese Doppelbilder vermochte ich nicht zu unterscheiden von jenen, die entstanden, wenn ich mit einem Auge gar nichts, mit dem anderen die beiden Oeffnungen sah, so dass ich mich auch für berechtigt halte, den Satz auszusprechen, dass wir keine unmittelbare Kenntniss davon haben, ob wir monoculär oder binoculär sehen.

Diese Beobachtungen lassen sich noch auf mannigfache andere Weisen anstellen, doch ist immer eine gewisse Vorsicht notwendig, um alle Umstände auszuschliessen, die uns zu Elementen für einen Schluss verhelfen könnten. Wenn man in einem von mehreren Flammen erleuchteten Raume einen Brillanten in solcher Entfernung vor der Nasenwurzel hält, dass es eben noch gelingt, denselben einfach — wenn auch undeutlich — zu sehen und man nun eine ganz kleine drehende Bewegung mit dem Steine ausführt, so gerathen sämmtliche Spectra in Bewegung, einige verschwinden, neue tauchen auf. Man frage sich nun von einem solchen eben aufgeblitzten Spectrum, mit welchem Auge man es sieht, und prüfe dann die Richtigkeit der Antwort durch abwechselndes Schliessen der Augen. Auch hiebei wird man ungefähr ebenso häufig falsch wie richtig rathen.

Aus diesen Versuchen scheint mir hervorzugehen, dass ein „Organgefühl“ der Augen in dem Sinne, wie es in neuerer Zeit gelegentlich zur Beantwortung physiologischer und psychologischer Fragen angenommen wurde, und von welchem sogar unser Raumsinn abzuleiten versucht wurde, nicht existirt. Es mag immerhin zugegeben werden, dass sehr bald nach excessiven adäquaten Sinnesreizen sich Veränderungen in dem gereizten Organe secundär ausbilden, die nun vermittelst der dem Organe angehörigen schmerz-

empfindenden Nerven wahrgenommen und richtig localisirt werden — eine directe Wahrnehmung der anatomischen Lage des gereizten Sinnesapparates, ein Organgefühl kann selbst bei sehr intensiven Reizen — für das Auge wenigstens — nach dem eben Mitgetheilten nicht zugegeben werden.

II.

Eine bekannte Erscheinung, welche auch in Helmholtz's physiologischer Optik[1]), pag. 161, beschrieben wird, ist folgende: Blickt man durch ein Mikroskop oder Teleskop in ein leeres, helles Gesichtsfeld und versetzt man das Instrument oder den eigenen Kopf in kleine oscillirende Bewegungen, deren Ebene senkrecht steht zur Achse des Rohres, so erblickt man alsdann die sogenannte Purkinje'sche Aderfigur als scharfe dunkle Zeichnung auf hellem Felde. Die Capillargefässe sind ebenso deutlich ausgeprägt wie die grösseren Stämme, die gefässlose Stelle des deutlichsten Sehens auf der Netzhaut erscheint als eine nahezu kreisrunde, ausgesparte, wie chagrinirte Stelle der Zeichnung und man kann, wenn man den Kopf in einer bestimmten Richtung bewegt, leicht beobachten, dass hiebei hauptsächlich diejenigen Gefässe hervortreten, deren wirkliche Verlaufsrichtung auf die Bewegungsrichtung des Kopfes senkrecht steht, während solche Gefässe, deren Richtung mit der Bewegung übereinstimmt, im Bilde ausbleiben und erst dann anfangen sichtbar zu werden, wenn man die Bewegungsrichtung des Kopfes ändert. Beschreibt man mit dem Kopfe kreisförmige Schwingungen, so treten alle Bestandtheile des Bildes gleichzeitig und gleich scharf hervor. Die Erklärung der bisher angeführten Thatsachen ist selbstverständlich.

Doch ist mir bei öfterer Wiederholung des Versuches ein Umstand aufgefallen, dessen Begründung aus den bekannten Gesetzen nicht ebenso einfach ist. Bei langsamer Bewegung des Kopfes treten nämlich nicht zuerst die stärkeren Theile der Zeichnung hervor, wie man erwarten sollte, sondern im Gegentheile die feinsten. Man findet leicht einen solchen Grad von Geschwindigkeit der Kopfbewegungen heraus, dass alle grösseren Blutgefässe gar nicht erscheinen und man im Bilde ausschliesslich das Capillargefässnetz der Retina vor sich hat, dieses aber mit aller wünschenswerthen und überhaupt erreichbaren Schärfe.

---

[1]) Es ist natürlich die erste Auflage gemeint. In der zweiten Auflage ist sie auf pag. 197 beschrieben. (Exner.)

Da die Bewegungen des Kopfes bei diesem Versuche keine andere Bedeutung haben, als die, dass sie — bei der vorhandenen Tendenz, zu fixiren — Bewegungen des Auges veranlassen, so werde ich nunmehr bloss von Augenbewegungen sprechen. Man kann ja bekanntlich die vorerwähnten Erscheinungen sämmtlich auch durch willkürliche Bewegungen des Auges bei ruhigem Kopfe hervorbringen, nur ist diese Methode bei weitem anstrengender und besonders dann, wenn man sich bemüht, die für gewöhnlich zuckenden Blickbewegungen des Auges, bei welchem das besprochene Bild nur intermittirend erscheint, in eine continuirliche Bewegung des Bulbus zu verwandeln, sehr ermüdend und nur immer eine ganz kurze Zeit hindurch anwendbar, während sich bei regelmässig ausgeführten Kopfbewegungen alsbald eine stetig und regelmässig schwingende Bewegung des Auges einstellt, welche auch nicht besonders ermüdend ist und den Versuch durch eine längere Zeit fortzusetzen erlaubt.

Befindet sich das Auge in Ruhe und ist die auf dasselbe wirkende Lichtquelle dem Orte und der Helligkeit nach unveränderlich, so werden die von jener Lichtquelle auf die empfindliche Schichte der Netzhaut entworfenen Schatten der vor dieser Schichte verlaufenden Blutgefässe nicht wahrgenommen aus den bekannten Gründen, nämlich wegen der grösseren Lichtempfindlichkeit und geringeren Ermüdung der beschatteten Netzhautstellen. Diesen schliessen sich noch die von Helmholtz bei Besprechung des blinden Fleckes (phys. Opt., pag. 210 ff. und 574 ff.) gemachten Bemerkungen an.

Bewegt man das Auge vor dem Oculare langsam, so erscheint nichts vom Gefässbaume im Gesichtsfelde, ganz wie im vorher besprochenen Falle, doch genügen die daselbst angedeuteten Gründe nicht mehr vollständig zur Erklärung dieser Erscheinung.

Bei steigender Geschwindigkeit der Bewegung des Auges (und somit auch der Bewegung der Gefässschatten auf der Netzhaut) werden nach und nach erst die Capillargefässe und später auch die grösseren Stämme sichtbar.

Man könnte nun zunächst daran denken, dass bei derselben Geschwindigkeit der Augenbewegung die Schatten der Capillargefässe in Wirklichkeit schneller über die lichtempfindende Fläche hinwandern als die der grossen Gefässe, und dass also ihre Bewegung wahrgenommen wird, während die der breiteren Gefässe für die Perception zu langsam ist. Diese Annahme wird aber dadurch widerlegt, dass im menschlichen Auge die gröberen Verzweigungen

der Retinagefässe in der Nervenfaserschichte, die Capillarnetze aber an beiden Oberflächen der inneren Körnerschichte liegen.[1])

Es werden somit die wandernden Schatten der stärkeren Gefässe trotz der grösseren Dimensionen und grösserer Geschwindigkeit unter Umständen nicht wahrgenommen, welche bereits das deutliche Erscheinen der Capillarschatten bedingen.

Nun könnte man vielleicht glauben, dass die wegen der entfernteren Lage der stärkeren Gefässe breiteren Halbschatten derselben sich zur Erklärung unserer Erscheinung verwenden lassen. Be geringen Augenbewegungen fällt nämlich der Kernschatten des Gefässes nicht über den früheren Ort seines Halbschattens auf der Retina hinaus, und die gesammte Erscheinung des Gefässschattens an seinem neuen Orte könnte unbemerkt bleiben wegen der geringen und durch allmälige Uebergänge vermittelten Lichtdifferenz zwischen Kernschatten und Halbschatten einerseits und zwischen dem auf bisher unbeschattete Netzhautpartien vorrückenden Halbschatten und der Helligkeit eben dieser Partien andererseits. Nun ist aber erstens die Breite des Halbschattens unter den gegebenen Verhältnissen im menschlichen Auge äusserst gering, zweitens aber lehrt eine einfache Rechnung oder Construction, dass mit gewissen Beschränkungen, welche aber die Anwendung auf unseren Fall zulassen: dass mit wachsender Entfernung des opaken Objektes vom Schirme, der Weg seines Schattens auf diesem Schirme, bei seitlicher Bewegung der Lichtquelle um eine Längeneinheit, in demselben Verhältnisse wächst, als die Breite seines Halbschattens gewachsen ist. Es ist somit die grössere Entfernung der breiteren Gefässe von der empfindlichen Schichte der Retina ein Umstand, der sich zur Erklärung der uns beschäftigenden Erscheinung nicht verwerthen lässt. Aus der Betrachtung, dass der Weg eines Arterien- oder Venenschattens nie absolut kleiner sein kann, als der gleichzeitig zurückgelegte Weg eines Capillarschattens, und dass der Halbschattenzuwachs der grösseren Gefässe dem Zuwachse des Weges ihres Schattens bei Bewegung proportional ist, folgt zugleich die Unhaltbarkeit aller Erklärungsversuche, welche sich auf die Wirkung von Irradiation (im Sinne Plateau's), von Contrast oder von Nachbildern stützen wollten. Es bleibt nun, soviel ich sehe, nichts übrig, als: das Vorhandensein eines — aus gewissen Gründen für gewöhnlich nicht zu unserem Bewusstsein kommenden — in

[1]) Siehe die erschöpfende Darstellung dieser Verhältnisse bei His: Abbildungen über das Gefässsystem der menschlichen Netzhaut u. s. w. Arch. f. Anatomie 1880, pag. 224ff.

allen seinen Theilen homogenen, einfachen Bildes von bestimmter Ausdehnung auf der sonst gleichmässig erleuchteten Retina im Sinne der psychophysischen Theorie für einen (unter der Schwellenhöhe befindlichen) Reiz und die innerhalb einer gewissen Zeiteinheit vor sich gehende Verschiebung dieses Bildes für einen Reizzuwachs anzusehen, welcher nach der Richtung der Verschiebung zu messen und mit der dieser Richtung parallelen Dimension des Bildes als Reizgrösse zu vergleichen wäre.

Wenn wir von der im Obigen erläuterten grösseren Geschwindigkeit der Arterien- und Venenschatten gegenüber den Capillarschatten absehen, so ist der Reizzuwachs, den Arterien- und Capillarschatten bei einer bestimmten Bewegung des Auges erfahren, absolut derselbe, im Verhältnisse zur Reizgrösse hingegen ein sehr verschiedener; ein echter oder unechter Bruch; ja er wird z. B. bei einer gewissen Geschwindigkeit der Bewegung für die grösseren Gefässe ein echter, und für die Capillargefässe ein unechter Bruch sein. Mit Berücksichtigung der etwas grösseren absoluten Geschwindigkeit der Schatten der von den Zapfen entfernteren, grösseren Gefässe tritt wohl ein etwas anderes Verhältniss ein, welches indessen durch die von vornherein beträchtlichere Reizgrösse (im Nenner) (breiterer Halbschatten), wenn auch nur theilweise compensirt wird. Doch kann man diesen ganzen Unterschied aus Rücksicht auf die grosse Differenz in der absoluten Breite von Arterien und Venen einerseits und von Capillaren andererseits und mit Rücksicht auf die geringe Entfernung beider von der Netzhaut vernachlässigen.

Bei schnellen Bewegungen des Bulbus ist nun der Reizzuwachs, nämlich die Verschiebung des Bildrandes, in der Zeiteinheit sowohl im Verhältnisse zur bedeutenden Reizgrösse der breiten Schatten, als auch selbstverständlich im Verhältnisse zu der geringeren Reizgrösse der schmalen Schatten ausreichend, um eine Empfindung anzuregen. Nimmt aber die Geschwindigkeit der Augenbewegung ab, so nimmt auch der durch die Bildverschiebung gegebene Reizzuwachs an allen Schatten absolut um das Gleiche ab, und wird bei einer gewissen Geschwindigkeit des Auges schon zu klein sein im Verhältnisse zu den breiteren Schatten, als dass er über die Schwelle des Bewusstseins treten könnte; während er im Vergleiche mit der Breite der schmalen Gefässschatten noch gross genug ist, um diese Schwelle zu überschreiten. Sinkt die Geschwindigkeit der Augenbewegung noch weiter, so entzieht sich auch dieses zweite Verhältniss wegen seiner Kleinheit unserer Wahrnehmung. Hieraus erklärt sich die im Anfange vorgebrachte Beobachtung in allen

ihren Theilen, besonders das frühere Auftreten der Capillarschatten und das gänzliche Ausbleiben der Erscheinung bei langsamen, wenn auch ausgiebigen Augenbewegungen — beides Beobachtungen, die in keiner anderen mir bekannten Hypothese ihre Erklärung finden. Die Thatsache, dass wir beim gewöhnlichen Gebrauche unserer Augen viel geringere Geschwindigkeiten, als welche hier in Betracht kommen, dennoch wahrnehmen, z. B. die Bewegung des Minutenzeigers einer Taschenuhr, oder eines aus sehr grosser Entfernung angesehenen Eisenbahnzuges, erklärt sich daraus, dass wir in dem mit Objecten angefüllten Gesichtsfelde sehr bald an der Vergleichung vollkommen ruhender mit den bewegten Objecten, eben deren Bewegung erkennen. Dieses ist bei unserem Versuche, wo das Gesichtsfeld von ruhenden Bildern so gut wie ganz frei ist, nicht möglich. Die mehrmals erwähnte ungemein kleine Verschiedenheit in der Geschwindigkeit der Bewegung der grossen und kleinen Gefässschatten kann hiefür unmöglich verwerthet werden. Auch möchte ich diese Hypothese nicht unnütz auf andere als solche Bedingungen ausdehnen, als unter welchen die durch sie zu erklärende Beobachtung angestellt wird; zu diesen Bedingungen gehört vor allem das nicht Wahrgenommenwerden der ruhenden Schatten und das Freisein des Gesichtsfeldes von Objecten, wenigstens in der Gegend desselben, in welcher die Erscheinung hervortritt.

III.

Bei Gelegenheit der Besprechung entoptischer Objecte (pag. 151) erwähnt Helmholtz in seinem Lehrbuche der physiologischen Optik des Umstandes, dass durch kleine Ansammlungen von Thränenfeuchtigkeit, Secret der Augenliderdrüsen u. s. w., auf der Vorderfläche der Hornhaut Streifen und Tropfen im Gesichtsfelde erzeugt werden, und dass die helle Stelle in der Mitte der Tropfen öfters ein unvollkommenes optisches Bild von der Lichtquelle bildet. „Die Ansammlungen von Flüssigkeit auf der Hornhaut bilden hierbei kleine Convexlinsen, welche hinter sich ein umgekehrtes Bild der vor ihnen liegenden Gegenstände entwerfen.“ Ausser von dieser Art von entoptisch sichtbaren Gegenständen ist bisher noch von keiner anderen bekannt, dass sie Veranlassung zur Abbildung der Lichtquelle werden können, und doch ist dies, wie man sich leicht überzeugen kann, auch für die allergewöhnlichsten entoptischen Objecte, die mouches volantes der Fall. Man braucht nur durch einen dicht vor das Auge gehaltenen Schirm mit einer kleinen

irgendwie charakteristisch, etwa Tförmig gestalteten Öffnung gegen den hellen Himmel zu blicken, um sofort jede einzelne mouche volante in Gestalt der Spalte im Schirme zu sehen (und ihr gleich orientirt). Auch die einzelnen Perlen in schnurartig aufgereihten mouches volantes nehmen die Gestalt der Lichtquelle an, und zwar wie die solitären mouches mit grosser Schärfe und Deutlichkeit. Die Erklärung dieser Erscheinung ist so einfach, dass es wohl überflüssig wäre, näher auf dieselbe einzugehen; es liegt eben jener bekannte Fall vor, dass die Gestalt des Schattens nicht der des opaken Gegenstandes, sondern der der Lichtquelle geometrisch ähnlich ist, und alle Einzelheiten dieses Falles finden sich in unserem Experimente wieder; so lassen sich aus demselben auch Schlüsse über die Entfernung der schattengebenden Körper von der Zapfenschichte der Netzhaut ziehen, welche mit den ohnehin über diesen Punkt bekannten Daten in guter Uebereinstimmung sind.

Die subjectiven Beobachtungen, welche den hier mitgetheilten Notizen zu Grunde liegen, habe ich nicht allein selbst gemacht, sondern sie wurden von verschiedenen anderen Beobachtern bestätigt.

(Aus dem LXXXVI. Bd. der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. zu Wien. III. Abth.)

(Sitzung vom 9. Juni 1882.)

IV.

Bei Besprechung der Erscheinungsweise von Stabgittern, die sich in relativ grosser Entfernung vom Auge befinden, giebt Helmholtz[1]) folgende Beschreibung und Abbildung.

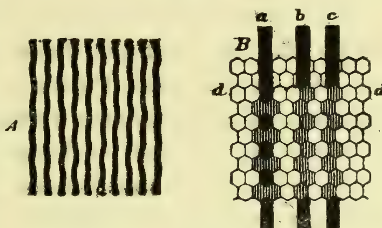
„Bei diesen Versuchen bemerkte ich eine auffallende Formveränderung der geraden hellen und dunkeln Linien. Die Breite jedes hellen und jedes dunkeln Streifen des von mir gebrauchten Gitters betrug $\frac{13}{24} = 0 \cdot 4167$ Mm. In dem Abstande von $1 \cdot 1$ bis $1 \cdot 2$ Meter fing die Erscheinung an sichtbar zu werden. Das Gitter bekam

---

[1]) H. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik, p. 217; in der zweiten Auflage pag. 257.

etwa das Ansehen wie in Fig. 102 *A* (siehe die nebenstehende Fig. 1 *A*), die weissen Streifen erschienen zum Theil wellenförmig gekrümmt, zum Theil perlschnurförmig mit abwechselnd dickeren und dünneren Stellen. Es seien in Fig. 102 (1) *B* die kleinen Sechsecke Querschnitte der Zapfen des gelben Flecks, *a*, *b* und *c* drei optische Bilder von den gesehenen Streifen, diese sind oberhalb *dd* in ihrer wirklichen Form dargestellt, unterhalb *dd* aber sind alle Sechsecke, deren grössere Hälfte schwarz war, ganz schwarz gemacht, deren grössere Hälfte weiss war, ganz weiss, weil in der Empfindung immer nur die mittlere Helligkeit jedes Elements wahrgenommen werden kann. Man sieht, dass dadurch in der unteren Hälfte von Fig. 102 (1) *B* ähnliche Muster entstehen wie in *A*."

Fig. 1.



Gegen diese Erklärungsweise des sehr auffallenden Phänomens möchte ich mir nun einige Einwendungen erlauben.

Warum erscheint nicht jede gut fixirte und scharf gesehene geradlinige Grenze zwischen zwei Farben oder zwei Helligkeiten gewellt? Und wie ist es zu verstehen, dass man Details am Rande eines gewellt erscheinenden Gitterstabes noch erkennt, welche feiner sind als die Wellenfigur selbst? Ich werde im weiteren Verlaufe dieser Darstellungen die Bedingungen mittheilen, unter denen man die Stäbe und Zwischenräume eines Gitters, welches aus feinsten Laubsägeblättern zusammengesetzt ist, deutlich wellenförmig sieht, und dabei doch noch die Zähnelung mit einem solchen Grade von Deutlichkeit, dass man wenigstens mit Leichtigkeit angeben kann, nach welcher Seite die Zähne sehen — obwohl die letzteren ein in jeder Beziehung feineres Muster bilden als die Wellen.

Nun, in Wirklichkeit ist die Bedingung, dass das Netzhautbild des Gitters von derselben Feinheit sei wie die Zapfen-Mosaik, gar keine Bedingung für das gewellt Erscheinen des Gitters; und in Wirklichkeit erscheint allerdings jede geradlinige Grenze zwischen zwei Farben oder Helligkeiten gewellt, sobald sie unter die wahren Bedingungen des Versuches gebracht wird.

Ehe ich zur Aufzählung meiner übrigen Einwendungen gegen die von Helmholtz gegebene Erklärung übergehe, will ich jene Bedingung namhaft machen, welche ich für die wahre Bedingung des Versuches halte.

Jedes Gitter, jeder Stab, jeder geradlinige Rand erscheint gewellt, sobald sein Netzhautbild — von welcher Grösse es immer sei — mit einer mässigen Geschwindigkeit über die Netzhaut hingleitet.

Man zeichne irgend ein Stabgitter auf einen Streifen Papier, etwa indem man mit der Reissfeder eine Schaar paralleler Linien zieht und wickle das Papier so um den Cylinder eines Kymographiums, dass die Streifen vertical stehen. Ich habe mich gelegentlich jener im Handel vorkommenden Schreibunterlagen bedient, welche mit dicken äquidistanten Linien bedeckt sind und vielfach verwendet werden, um Zeilenlänge und -Abstand regelmässig zu machen. Besonders mit einer solchen rastrirten Unterlage, bei welcher die Dicke der schwarzen Linien circa 1·6 Mm., die Breite der weissen Streifen aber circa 5·5 Mm. betrug, habe ich einen grossen Theil der im Folgenden zu beschreibenden Versuche angestellt.

Ist der mit verticalen Linien bedeckte Streifen um die Trommel des Kymographiums befestigt, so setzt man sich in bequemer Sehweite vor die gut beleuchtete Seite derselben und lässt sie durch das Laufwerk des Apparates drehen. Die schwarzen Streifen erscheinen nach wie vor geradlinig. Bringt man aber nun vor der Trommel auf einem eigenen Stativ ein kleines ruhendes Fixationszeichen an und fixirt es gut, während sich die Streifen hinter ihm vorüberbewegen, so erscheinen letztere im ganzen Felde des directen Sehens wellenförmig verkrümmt. Dieses Phänomen tritt, wie gesagt, immer ein, es ist aber deutlicher und wird von Ungeübten leichter bemerkt, wenn für das Muster und die Umdrehungsgeschwindigkeit gewisse Verhältnisse nicht zu weit überschritten werden. Bei einer Breite der Streifen von etwa 0·7 Mm., der Intervalle von etwa 1·5 Mm. und einer Geschwindigkeit von beiläufig 15—20 Mm. in der Secunde, ist das Phänomen, aus einer Entfernung von 30—40 Ctm. betrachtet, so in die Augen fallend, dass es nicht leicht von Jemandem wird unbemerkt bleiben, es müsste denn eine des Fixirens vollkommen unfähige Person sein; solcher Menschen giebt es allerdings mehr als man glaubt.

Man überzeugt sich bei dieser Anordnung des Versuches leicht davon, dass man die Wellen nur in jenen Momenten sieht, in denen die Fixation gut ist; sobald man mit dem Auge den sich bewegenden Linien folgt, erscheinen diese wieder einfach geradlinig. Bei einiger Uebung im Beobachten dieses Phänomens wird man desselben häufig gewahr; sobald nur einigermaassen die Bedingung des Ver-

suches vorhanden ist. So habe ich z. B. die armdicken Stäbe des colossalen Gitters vor St. Peter in Rom, in der Loggia in zwei Schritt Entfernung vor ihnen stehend deutlich wellenartig gekrümmt gesehen, als ich die Spitze meines Spazierstockes quer in Augenhöhe an ihnen vorüberführte und dieselbe mit den Augen fixirte.

Dass die von Helmholtz an entfernten feinen Gittern beobachtete Erscheinung mit der von mir an bewegten Gittern von beliebiger Grösse und Entfernung beobachteten identisch ist, scheint allerdings noch eines Beweises bedürftig. Ich finde denselben aber in folgenden Umständen.

Die Erscheinungsweise des Phänomens ist in beiden Fällen ganz die gleiche — es ist mir nicht gelungen, irgend einen Unterschied in dem Charakter der Wellen aufzufinden.

Das Auftreten der Erscheinung bei der Helmholtz'schen Anordnung lässt sich sofort unterdrücken, sobald es gelingt, die Bedingung, welche sich nach meiner Anordnung als für das Zustandekommen der Erscheinung maassgebend herausgestellt hat, zu eliminiren. Sieht man also die Stäbe eines Gitters nur mehr unter Gesichtswinkeln von circa 1′, so verschwindet das Wellenphänomen in den Zeiten absoluter Fixation des Blickes oder in den Zeiten, während welcher die Blickbewegung den Stäben merklich parallel ist.

Die Meinung, dass man die Wellen nur dann sieht, wenn die Netzhautbilder so fein sind wie die Zapfenmosaik, hat sich offenbar auf folgende Weise gebildet.

So lange man ein Gitter mühelos deutlich sieht, hat man gar keine Veranlassung, das Auge regelmässig quer zu den Stäben zu bewegen, das Auge findet an den deutlich gesehenen Linien hinlängliche Anhaltspunkte zum fixiren und macht höchstens einigermaassen regelmässige Bewegungen in der Richtung der Linien. Erst wenn bei zunehmender Entfernung die Linien anfangen undeutlich zu werden, hören sie auf, gute Fixationsobjecte für das beobachtende Auge abzugeben und dieses schwankt nun an einem keine Anhaltspunkte darbietenden Objecte nach allen Richtungen umher, wobei jedesmal, wenn sich die Richtung der Augenbewegung mit der der Stäbe unter einem etwas grösseren Winkel schneidet, die Wellenfigur erscheint.

Ebenso wie die Forderung der Kleinheit der Netzhautbilder, muss ich auch die am selben Orte ausgesprochene Forderung einer genauen (nöthigenfalls durch Brillen zu unterstützenden) Accomodation des Auges für die Entfernung des Gitters für unwesentlich

halten. Arbeitet man unter den von Helmholtz angegebenen Bedingungen, dann ist natürlich scharfe Einstellung des Auges unerlässlich, da ja unter diesen Verhältnissen bei ungenauer Einstellung überhaupt keine Linien, also auch keine gewellten, gesehen werden; macht man aber den Versuch mit sich bewegendem Gitter und fixirendem Auge, dann kann das Fixationszeichen sehr viel näher am Auge liegen als das Gitter, ohne dass die Erscheinung an Deutlichkeit abnimmt; ja ein gewisser Grad von Ungenauigkeit der Accomodation ist ihrem Zustandekommen sogar günstig. So sehe ich die Wellen z. B. sehr schön, wenn die Entfernung des sich bewegenden Gitters von einem meiner (emmetropischen) Augen 400 Mm., die Entfernung des Fixationszeichens vom Auge hingegen 280—320 Mm. beträgt.

Wie eine sehr einfache Ueberlegung ergiebt, ist auch die Thatsache, dass das Vorhandensein so beträchtlicher Zerstreuungsbilder, wie sie unter den zuletzt besprochenen Verhältnissen auftreten, die Erscheinung keineswegs behindert, jenem Erklärungsversuche nicht günstig, welcher sich auf die Zapfen-Mosaik beruft.

Absolut unvereinbar mit dieser Erklärung sind aber die Resultate der Messung (oder eigentlich Schätzung) der Dimensionen des Wellenphänomens. —

Unter Zugrundelegung der Helmholtz'schen Annahme würde sich ergeben, dass die Länge der Wellen der doppelten Breite, und die Höhe derselben (vom höchsten bis zum tiefsten Punkte) der halben Breite eines Zapfens gleich sein muss, es würde sich danach für die Länge einer Welle ein Gesichtswinkel von ungefähr 2′, für ihre Höhe ein Gesichtswinkel von ungefähr 30″ ergeben.

Wie gross ist nun der Gesichtswinkel, unter welchem die Wellen wirklich erscheinen?

Um diese Frage zu beantworten, habe ich zwischen dem Auge und der Kymographiumtrommel, ziemlich nahe an letzterer, einen schwarzen Schirm angebracht, in welchem sich ein Fenster von circa 5 Ctm. Breite und 2 Ctm. Höhe befand.

Das Fixationszeichen war in der Mitte des Fensters angebracht und man sah durch letzteres auf die sich langsam vorbeibewegenden Gitterstäbe hin.

Es wurde nun durch möglichst sorgfältige Schätzung zu bestimmen gesucht, wie viel ganze Wellen auf der durch das Fenster gesehenen Länge eines Stabes sich befanden — eine Aufgabe,

welche weder leicht noch angenehm und gewiss nicht sehr genau zu lösen war.

Sowie man sich anstrengt, die Wellen auf dem Stabe zu zählen, entwickelt sich natürlich die Tendenz, diesem mit dem Blicke zu folgen; und sobald man dieser Tendenz nachgiebt, verschwinden augenblicklich die Wellen.

Nichtsdestoweniger war die Uebereinstimmung unter meinen Resultaten eine für den nächsten Zweck ausreichende, und der Werth meiner Schätzungen wurde für mich noch wesentlich durch den Umstand erhöht, dass einige Schätzungen, welche Herr Hofrath v. Brücke und Herr Professor Sigmund Exner für mich vorzunehmen die Güte hatten, sehr gut mit den meinigen übereinstimmten.

Um ein Beispiel zu geben, will ich anführen, dass ich an einem 630 Mm. von meinem Auge entfernten Gitter auf jedem der 18 Mm. langen Stäbe sechs ganze Wellen zählte. Hieraus ergiebt sich ein Gesichtswinkel von etwa $^1/_4{}^0$ für die Welle, und die Thatsache, dass eine Welle auf der Netzhaut ungefähr 15 Zapfen bedeckt. Diess aber scheint mir jede Möglichkeit, die Wellen aus der Zapfen-Mosaik zu erklären, auszuschliessen.

Zahlen, welche zu ganz ähnlichen Resultaten führten, erhielt ich nun bei allen in dieser Richtung angestellten Beobachtungen, wobei die Entfernung des Auges vom Gitter, die Länge des sichtbaren Theiles der Stäbe, ihre Breite, die Winkelgeschwindigkeit ihrer Bewegung, und insoferne auch die Methode der Beobachtung variirt wurde, als auch in einigen Fällen ruhende Gitter aus einiger Entfernung betrachtet wurden und die Anzahl der Wellen abgeschätzt wurde, welche (in Folge der Augenbewegungen) auf jedem Stabe sichtbar wurden.

Die auf diese verschiedenen Arten erhaltenen Zahlen variirten um das oben angegebene Mittel in scheinbar unregelmässiger Weise und um Beträge, welche aus der Unsicherheit solcher Abschätzungen vollkommen erklärt werden. Die geringsten Wellenlängen, welche bei absichtlich nach dieser Richtung übertriebener Schätzung und unter den ungünstigsten Umständen erhalten wurden, übertrafen immer noch um ein Vielfaches jene Länge, welche ein Postulat der Erklärung des Phänomens aus der Zapfen-Mosaik ist.

Ich will hier blos noch anmerken, dass bei Beobachtungen aus grösserer Entfernung die geschätzten Werthe der Wellenlängen im Allgemeinen geringer ausfielen, als bei geringerer Distanz,

ohne dass ich für diesen Umstand irgend einen Grund anzuführen vermöchte.

Die Höhe der Wellen versuchte ich entweder so zu schätzen, dass ich sie an dem entwickelten Phänomen mit der Breite der gewellten Streifen verglich, oder so, dass ich eine möglichst vollkommene Zeichnung von dem Phänomen anfertigte, selbe wiederholt corrigirend mit letzterem verglich, und dann an der Zeichnung (unter gehöriger Reduction auf die Entfernung) die gesuchte Grösse maass. Auf diese Weise erhielt ich abermals untereinander mit hinreichender Genauigkeit übereinstimmende Werthe, deren kleinster, 2·5 Zapfenbreiten für die Höhe der Welle, ebenfalls mit der Helmholtz'schen Erklärung, welche eine Höhe der Wellen von einer halben Zapfenbreite bedingen würde, in keinen Einklang zu bringen ist.

Ich habe nun verschiedene Versuche gemacht, das Phänomen auf eine befriedigende Weise zu erklären, doch ist mir dieses bis jetzt nicht gelungen.

Von den Formelementen der Netzhaut würden, als die breitesten, die Zellen des Pigment-Epithels[1]) in Betracht kommen, doch reichen selbst die Durchmesser dieser Gebilde zur Erklärung des Gesichtswinkels, unter welchem die Wellen erscheinen, nicht ganz aus. Doch könnte man sich, wenn nur sonst ein ausreichender Grund vorläge, den Pigmentzellen eine derartige Function beim Sehen zuschreiben, in Erwägung der grossen Unsicherheit in der Ermittlung dieses Gesichtswinkels immerhin selbst dazu entschliessen, anzunehmen, man habe denselben durchgehends noch einmal so gross geschätzt, als er in Wirklichkeit ist, eine Annahme, die nothwendig wäre, um die Erscheinung unter der Voraussetzung zu erklären, dass die Zellen des Pigment-Epithels „Sehelemente" (Boll) sind.

Auch ist es, um das Pigment-Epithel zur Erklärung des Phänomens heranzuziehen, nicht gerade nothwendig, dasselbe für lichtpercipirend zu halten, in der Art, wie wir die Zapfen für lichtpercipirend halten. Es würde zum Beispiel vollkommen ausreichen, anzunehmen, dass sich in jeder Pigmentzelle, sobald dieselbe an einem kleinen Theile ihrer Oberfläche von Licht getroffen wird, ein chemischer Process abzuspielen beginnt, der sich mit sehr grosser Geschwindigkeit über die ganze Zelle verbreitet und der auf irgend

---

[1]) Vergl. Franz Boll, Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung. Arch. f. (Anat. u.) Physiologie 1881.

eine Weise die vor dieser Pigmentzelle gelegenen Zapfen beeinflusst.[1])

Allerdings würde eine derartige Einrichtung eigentlich einen Apparat zur Herabsetzung der Sehschärfe darstellen, aber es ist ja nicht ausgeschlossen, dass die Rückwirkung vom Epithel auf die Zapfen für gewöhnlich eine so schwache ist, dass sie nur unter besonders günstigen Verhältnissen bemerkbar wird — wie hier bei Bewegung des Bildes auf der Netzhaut, wobei ein steter, periodischer Wechsel zwischen Erregung und Ruhe für jede Zelle stattfindet.

Ohne auf die Verfolgung dieses Gedankens weiter einzugehen, und indem ich einige andere entschieden unglückliche Erklärungsversuche ganz übergehe, will ich nur noch einer Idee Erwähnung thun, von der ich mir durch längere Zeit schmeichelte, sie würde zu einem Verständniss der Erscheinung führen. Ich theile diese Idee hauptsächlich aus dem Grunde mit, weil die Einwände, welche ich selbst gegen sie geltend machte, und welche mich zuletzt bestimmt haben, sie ganz fallen zu lassen, Anderen nicht so maassgebend erschienen sind, wie mir.

Man denke sich nahe vor einem Schirm, auf welchem ein optisches Bild aufgefangen wird, parallel mit ihm ein Netz mit rundlichen Maschen aufgestellt. Die Fäden des Netzes bestehen aus dicken durchsichtigen Cylindern, deren Brechungsindex sich nur wenig von dem des umgebenden Mediums unterscheidet. Das Bild eines Stabgitters, welches auf den Schirm fällt, wird durch das vorgestellte Netz verzerrt werden und zwar werden die Stäbe durch die schief zu ihrer Richtung gestellten Cylinder mehrfach gebogen und geknickt erscheinen.

Ein solches Netz ist nun vor der lichtpercipirenden Schichte der Netzhaut in Form ihres Blutgefässsystemes aufgespannt, und man kann allerdings an eine solche Beeinflussung des Bildes seitens der Gefässe durch Brechung, Beugung oder Reflexion denken.

Die Grösse der Maschen des Capillarnetzes in meinen Augen würde ganz gut mit dem Gesichtswinkel des Wellenphänomens stimmen, aber es dürften die Stäbe, wenn diese Erklärung das Richtige getroffen haben sollte, in unmittelbarer Umgebung des Fixationspunktes nicht gewellt, sondern sie müssten gerade erscheinen, da bekanntlich die Stelle des deutlichsten Sehens auf der

[1]) Vergl. die Darstellung W. Kühne's von der Thätigkeit des Pigmentepithels beim Sehen in dessen „chemische Vorgänge in der Netzhaut". Hermann's Handb. d. Physiologie, III. Bd., 1. Theil.

Netzhaut gefässlos ist. Vielleicht ist aber diese Stelle so klein, dass dieses kurze gerade Stückchen der Beobachtung entgeht, besonders bei den schwierigen Umständen, unter denen diese vorgenommen wird. Ich habe also die Grösse der gefässlosen Stelle in der Netzhaut meines rechten Auges bestimmt und zwar auf folgende Weise.

Ich blickte in das helle, leere Gesichtsfeld eines Mikroskopes unter beständiger Bewegung meines Kopfes. Das auf diese Weise hervorgerufene äusserst scharfe Bild[1]) der Blutgefässe in der Netzhaut wurde mittelst eines auf das Ocular aufgesetzten Zeichenprismas auf eine in gemessener Entfernung aufgestellte Papierfläche projicirt, und die gefässlose Stelle mit verschieden grossen, auf das Papier gezeichneten Kreisen verglichen, dadurch dass man sie der Reihe nach mit den Kreisen zur Deckung zu bringen suchte. Aus der Grösse des passenden Kreises und seiner Entfernung wurde dann der Gesichtswinkel, unter dem die gefässlose Stelle gesehen wird — und folglich auch sieht — bestimmt und zwar bei mir etwa gleich 85′. Auf der gefässlosen Stelle haben folglich 4—6 ganze Wellen des Phänomens Platz und ich glaube ganz bestimmt sagen zu dürfen, dsss es mir nicht entgangen wäre, wenn das Phänomen in solcher Ausdehnung gerade an der Stelle des deutlichsten Sehens gefehlt hätte. Demnach habe ich auch diese Erklärung wieder fallen gelassen.

V.

Das Urtheil über die Geschwindigkeit einer gesehenen Bewegung setzt sich zusammen aus drei Urtheilen, nämlich:

1. Aus dem Urtheile über die Richtung der Bewegung;

2. aus dem Urtheile über die Entfernung des sich bewegenden Körpers vom Auge;

3. aus dem Urtheile über die Winkelgeschwindigkeit der Bewegung um das Auge.

Wenn wir das dritte dieser Urtheile als direct aus der Wahrnehmung abstrahirt und demnach im einzelnen Falle als gegeben betrachten, so kann man sagen, dass wir eine Geschwindigkeit für um so grösser halten, für je kleiner wir den Unterschied zwischen der Richtung der Bewegung und der Richtung der Visirlinie halten

---

[1]) Vergl. Helmholtz, physiologische Optik, p. 161. (1. Auflage.)

Fleischl, physiologisch-optische Notizen, erste Mittheilung II. Diese Berichte LXXXIII. Bd. III. Abth.

und für je grösser wir die Entfernung des sich bewegenden Körpers vom Auge halten.

Woher wir die Elemente zu den Urtheilen über Richtung und Entfernung des sich bewegenden Körpers nehmen, mag hier unerörtert bleiben, und es wird demnach die Voraussetzung gemacht, dass wir wissen, in welcher Entfernung vom Auge die Bewegung stattfindet, und dass wir ferner wissen, dass die Bewegung sich in einer Bahn vollziehe, welche normal zur Visirlinie ist.

Dann hängt also das Urtheil über die Geschwindigkeit der Bewegung bloss vom Urtheile über die Winkelgeschwindigkeit ab — es fällt vielmehr das Urtheil über die Geschwindigkeit mit dem über die Winkelgeschwindigkeit zusammen.

Das Urtheil über die Winkelgeschwindigkeit kann nun bekanntlich gewonnen werden:

1. Bei unbewegtem Auge, wobei das Bild des bewegten Körpers über die Netzhaut des Auges hingleitet — und zwar mit einer Winkelgeschwindigkeit, welche gleich der des Objectes ist, wenn man als Centrum für beide Geschwindigkeiten einen etwa 14·5 Mm. vor der Netzhautgrube des Auges gelegenen Punkt wählt.

2. Bei bewegtem Auge, so dass der Ort des Bildes auf der Netzhaut constant erhalten wird, wobei die Winkelgeschwindigkeit des Auges um seinen Drehpunkt an Richtung und Grösse gleich der des Objectes um denselben Punkt ist.

3. Bei beliebig anders bewegtem Auge, wobei Richtung und Grösse der Winkelgeschwindigkeit desselben um alle denkbaren Werthe gegen Richtung und Grösse der Winkelgeschwindigkeit des Objectes verschieden sein können.

Nun sollte man meinen, dass unser Urtheil über eine bestimmte Geschwindigkeit davon unabhängig sein muss, nach welcher dieser drei Methoden die betreffende Winkelgeschwindigkeit beurtheilt wird; so dass ich zum Beispiel dieselbe Vorstellung von der Geschwindigkeit, mit welcher sich ein Gegenstand vor meinen Augen bewegt, erhalte, ob ich diesem Gegenstande mit den Augen folge, oder ob ich irgend einen ruhenden Punkt in meinem Gesichtsfelde fixire.

Es erscheint diese Voraussetzung geradezu als eine Bedingung für ein zusammenhängendes, keine Widersprüche in sich tragendes Verständniss der Aussenwelt — denn wenn ihr nicht genügt ist, sondern vielmehr die Vorstellung, die ich von der Geschwindigkeit einer bestimmten Bewegung bekomme, von der Art abhängt, nach der ich diese Bewegung mit meinen Augen betrachtet habe, dann

wird natürlich nur eine von den verschiedenen Vorstellungen, die ich von dieser Geschwindigkeit haben kann, die richtige sein.

Da nun in einem Gesichtsfelde, dessen einzelne Theile in relativer Bewegung gegen einander sind und von welchem ein Punkt nach der zweiten Art gesehen wird, also in der Weise, dass das Auge ihm nachfolgt, nothwendig alle Punkte, welche eine relative Bewegung gegen diesen fixirten Punkt haben, nicht nach der zweiten Art gesehen werden können, so würde hieraus und aus dem Satze, dass die Vorstellung von der Geschwindigkeit einer Bewegung abhängt von der Art, sie zu sehen, folgen, dass das Urtheil über die relativen Geschwindigkeiten im Gesichtsfelde von den Augenbewegungen abhängt, und also bei jeder Art zu sehen, immer nur für gewisse Punkte von bestimmter Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung richtig, für alle anderen Punkte falsch ist, und dass die jedesmalige Auswahl der in richtiger Bewegung gesehenen Punkte von der zufälligen oder absichtlichen Bewegung der Augen abhängt.

Obwohl es an sich höchst unwahrscheinlich und nach der Denkungsweise eines strengen Empirismus kaum recht verständlich ist, so ist unser Sehvermögen dennoch in Wirklichkeit mit dieser grossen Complication und Unvollkommenheit behaftet, wie im Folgenden gezeigt werden soll.

Man überzieht die Mantelfläche eines um eine verticale Axe mit gleichmässiger Geschwindigkeit drehbaren Cylinders (einer Kymographiumtrommel) mit einem Papier, welches in vollkommen regelmässiger Weise mit parallelen und äquidistanten verticalen Linien bedeckt ist. Man setzt sich so, dass das beobachtende Auge etwa einen halben Meter vom Papier entfernt ist und korrigirt die Refraction des Auges nöthigenfalls durch ein Brillenglas. Zwischen Auge und Papier steht ein schwarzer Schirm, welcher die ganze Trommel bedeckt, mit Ausnahme eines kleinen, mittleren Stückes derselben, welches man durch ein Fenster in dem Schirm sieht. Das Stück Papier, welches man sieht, muss gleichmässig beleuchtet und so klein sein, dass die Aequidistanz der Linien durch die Krümmung des Cylinders nicht merklich gestört erscheint. In der Mitte des Fensters oder an einem Punkte seines oberen oder unteren Randes bringt man ein kleines Fixationszeichen an.[1])

---

[1]) Das von mir verwendete Fenster war etwa 5 Ctm. breit, 2 Ctm. hoch, das gestreifte Papier war die oben pag. 158 erwähnte Schreibunterlage. Als Fixationsmarke diente ein kleines, kaum 0·5 Mm. im Durchmesser haltendes rothes Papierscheibchen auf einer Nadelspitze und später ein ebensolches, in die Mitte eines grossen, ganz klaren, und unter den gegebenen Verhältnissen unsichtbaren Deckglases geklebt, welches die Oeffnung des Fensters vollkommen bedeckte.

Nun versetzt man den Cylinder in gleichmässige Rotation, so dass ein Punkt des Papieres 10—25 Mm. in der Sekunde zurücklegt und betrachtet die vorbeiziehenden Linien durch das Fenster, ohne sich irgendwie zu beeinflussen. Man erhält auf diese Weise eine Vorstellung oder einen Eindruck von der Geschwindigkeit dieser Bewegung. Dann heftet man plötzlich den Blick unverwandt auf das Fixationszeichen und wird mit einigem Erstaunen gewahr werden, um wie viel rascher sich jetzt die Bewegung der Linien zu vollziehen scheint. Einer meiner gelehrten Freunde, der im Schätzen von Grössen aller Art sehr geübt ist, meinte, die Geschwindigkeit verdopple sich etwa. Verlässt man die Fixation und sieht sich die Bewegung wieder naiv an, so erscheint sie sofort wieder langsamer. Diese „naive" Betrachtung der Bewegung besteht, wie man sich leicht durch Beobachtung eines fremden Auges überzeugen kann, darin, dass das Auge eine der sich vorbei bewegenden Linien fixirt und ihr mit dem Blicke folgt, bis sie hinter dem Rande des Fensters verschwindet; dann springt der Blick mit grosser Geschwindigkeit auf eine andere Linie zurück und folgt nun wieder dieser u. s. w. Dass nicht mangelhafte Accomodation des Auges für das Papier, während des Fixirens Schuld an dieser Verschiedenheit ist, kann man zeigen, indem man den Schirm mit dem Fenster so nahe an die Trommel bringt, dass das Fixationszeichen nur um Bruchtheile eines Millimeters vor dem Papier liegt.

Ich werde sofort eine andere und insoferne bessere Methode mittheilen, diesen Versuch anzustellen, als man der eben beschriebenen Anordnung den Vorwurf machen könnte, das Fixationszeichen selbst bedinge den Unterschied, indem es, wenn es fixirt wird, Veranlassung bietet, zahlreiche Occultationen zu beobachten, die auf irgend eine Weise den Eindruck, den die Bewegung macht, erhöhen könnten; ich lege aber doch auch auf diese Methode einigen Werth, weil sie wieder von einem anderen Einwande frei ist, den man der anderen machen könnte; bei der eben mitgetheilten Methode wird nämlich beide Male mit derselben Netzhautstelle — der Grube — beobachtet.

Die andere Methode besteht darin, dass man zwischen der Trommel und dem Fenster ein grosses Reversionsprisma anbringt und dafür das Fixationszeichen wegfallen lässt. Das Prisma wird so gestellt, dass seine Hypotenusenfläche eine Fortsetzung derjenigen Radialebene des Cylinders ist, welche gegen das beobachtende Auge zu gerichtet ist, und dass es die untere Hälfte des durch das Fenster sichtbaren Raumes einnimmt, während durch die obere Hälfte des Fensters die Papierfläche direct gesehen wird. Durch kleine Ver-

schiebungen und Drehungen des Prisma's bringt man es dann leicht in eine solche Lage, dass die durch das Prisma gesehenen Linien der ruhenden Papierfläche Fortsetzungen der direct gesehenen zu sein scheinen. Für gleichmässige Beleuchtung des Gesichtsfeldes sorgt man, wie bei der früheren Anordnung, durch passend angebrachte Spiegel.

Setzt man nun den Cylinder in Bewegung, so gehen die Linien in der unteren Hälfte des Fensters mit derselben Geschwindigkeit, wie die in der oberen Hälfte am Auge vorüber, aber in entgegengesetzter Richtung. Sieht man aber die Linien der unteren Hälfte an, das heisst, folgt man ihnen unwillkürlich mit dem Blick, dann sieht man, dass sie sich viel langsamer bewegen, als die Linien in der oberen Hälfte, und ebenso sieht man die unteren Linien viel rascher wandern, wenn man die oberen betrachtet.

Der Vorzug dieser Anordnung besteht darin, dass sie erstens von dem oben erwähnten Einwand frei ist, der sich auf das Fixationszeichen bezog, und dass man zweitens die beiden hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit miteinander zu vergleichenden Bewegungen gleichzeitig sieht, und nicht wie bei der früheren Anordnung nacheinander.

Uebrigens werden bei der ersten Anordnung (mit dem Fixationszeichen) von den oben pag. 165 aufgezählten drei Arten eine Bewegung zu sehen, die erste und zweite mit einander verglichen; bei der Anordnung mit dem Prisma hingegen werden von diesen drei Arten des Sehens die zweite und dritte miteinander verglichen.

Man könnte bei der Anordnung mit dem Prisma die grössere scheinbare Geschwindigkeit der indirect gesehenen Linien, daher ableiten wollen, dass eben vielleicht im indirecten Sehen Geschwindigkeiten überschätzt werden; doch wird man dieses Vorhaben bald aufgeben, wenn man bedenkt, dass bei der ersten Anordnung ein analoger Versuch eine analoge Wirkung hatte, obwohl dort die Bewegung beide Male im directen Sehen betrachtet wurde; und wenn man ferner bedenkt, dass, soviel hierüber bekannt ist, die der Netzhautgrube benachbarten Stellen der Retina, was das Sehen von Bewegungen anlangt, vor der Grube selbst nicht etwa bevorzugt sind, sondern ihr hierin sogar beträchtlich nachstehen. Ich erinnere nur an den Versuch mit der Taschenuhr.[1])

---

[1]) J. N. Czermak. Ideen zu einer Lehre vom Zeitsinn, Ges. Abhdl. I. Bd., I. Abth., p. 421.

Sigm. Exner. Ueber das Sehen von Bewegungen u. s. w., diese Ber. LXXII. Bd., III. Abth. 1875, p. 6 des Sep. Abdr.

Man lege eine mit einem kleinen Secundenzifferblatte versehene Uhr vor sich auf den Tisch und berücksichtige die Geschwindigkeit des Secundenzeigers, während man eine von diesem einigermassen entfernte Stelle, z. B. den Zweier oder den Zwölfer der grossen Eintheilung fixirt. Dann richtet man plötzlich den Blick auf den Secundenzeiger selbst. Dieser scheint nunmehr sich viel rascher zu bewegen als vorher. Wie dieser Versuch zu erklären ist, weiss ich nicht. Daher, dass man im indirecten Sehen die Eintheilung des Secundenkreises nicht deutlich genug sieht, um das Weggleiten der Nadel über die einzelnen Striche zu bemerken, rührt die Erscheinung nicht; davon habe ich mich durch einen besonderen Versuch, bei welchem dieses Moment ganz ausgeschlossen war,[1]) überzeugt. Jedenfalls aber kann man soviel daraus schliessen, dass Bewegungen im indirecten Sehen nicht schneller erscheinen, als im directen Sehen, und dass also hieraus kein Einwand gegen die sofort aus den oben vorgebrachten Versuchen zu ziehenden Schlüsse abgeleitet werden kann.

Ich halte mich nämlich für berechtigt, auf Grund jener Versuche den Satz auszusprechen, dass die Geschwindigkeit eines sich am Auge vorüberbewegenden Punktes für grösser gehalten wird, wenn das Auge ihm nicht nachfolgt, als wenn es ihm nachfolgt; dass also von den oben angeführten Arten des Sehens einer Bewegung die unter Nummer 2 vorgebrachte diejenige ist, bei welcher die Geschwindigkeit des Punktes am kleinsten erscheint.

Man kann, wenn man der Einfachheit wegen von den unter Nummer 3 vorgebrachten Bewegungen des Auges absieht, diesen Satz auch folgendermassen ausdrücken: Ein und dieselbe Bewegung kann entweder wahrgenommen werden vermittelst der äusseren Augenmuskeln oder vermittelst der Netzhaut. Bei letzterer Art die Bewegung wahrzunehmen, erscheint ihre Geschwindigkeit beträchtlich grösser, als bei der anderen.

Auch so kann man sich ausdrücken, dass man sagt: Bei Beurtheilung der Geschwindigkeit einer von uns gesehenen Bewegung bringen wir den Einfluss der Bewegung unserer Augen zwar in Rechnung, aber, weit entfernt davon, diese Rechnung richtig auszuführen, unterschätzen wir vielmehr den Einfluss, den unsere Augenbewegung auf die Verschiebung des Bildes auf der Netzhaut hat.

Ruht das Auge, so wird die Bewegung des Gegenstandes mit dem Auge unmittelbar und ganz empfunden.

[1]) Beobachtungen auf einem nicht getheilten Zifferblatt.

Bewegt sich das Auge, so wird die Bewegung des Gegenstandes ganz oder theilweise erschlossen — das Ergebniss dieser Schlüsse (die wahrgenommene Geschwindigkeit) ist allemal falsch, bleibt hinter der Wirklichkeit beträchtlich zurück.

Ein etwas complicirtes aber recht instructives Beispiel für die im Obigen vorgetragene Lehre ist das Folgende:

Man befindet sich in einem Eisenbahn-Waggon und blickt, während der Zug im Fahren ist, zu einem Fenster der rechten Seite hinaus, auf frisch umgepflügte Felder. Die parallelen von der Pflugschar gezogenen Furchen stehen senkrecht auf die Richtung der Schienen und gehen bis ganz nahe an den Bahndamm heran.

Will man nun einen bestimmten Punkt einer Furche, an der man eben vorüberfährt, fixiren, so muss man natürlich das Auge drehen und zwar in demselben Sinne, in welchem sich die Zeiger einer von oben angesehenen Uhr drehen und mit einer Winkelgeschwindigkeit, welche — die Fahrgeschwindigkeit des Zuges als constant vorausgesetzt — nur von der Entfernung des fixirten Punktes vom Auge abhängt.

Ist also die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher man das Auge im angegebenen Sinne dreht, für einen Punkt im Verlaufe der Furche, an der man eben vorbeifährt, die angemessene, so dass der Ort des Bildes dieses Punktes auf der Netzhaut sich nicht ändert, dann ist diese Winkelgeschwindigkeit für alle anderen Punkte dieser Furche nicht angemessen; sondern für die entfernteren Punkte zu gross, für die näheren zu klein; die Bilder aller anderen Punkte der Furche werden also Wege zurücklegen auf der Netzhaut, und zwar um so grössere Wege, je weiter sie von dem fixirten Punkt entfernt sind. Der Effect ist nun der, dass die Furche sich um den fixirten Punkt zu drehen scheint, und zwar ist der Sinn der Drehung dem der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzt. Hiebei wird also auch wieder nur der Theil der Bewegung wahrgenommen, welcher unmittelbar von der Netzhaut durch Veränderung des Bildes auf ihr empfunden wird. Denn das Bild der Furche dreht sich auf der Netzhaut um das Bild des vom Beobachter fixirten Punktes. Aber die Netzhaut und mit ihr das auf ihr befindliche Bild dreht sich gleichzeitig um den Drehungsmittelpunkt des Auges, und wenn dieser Umstand, dessen wir uns mittelst der äusseren Augenmusculatur, durch die wir diese Drehung bewirken, bewusst sind, in gleicher Weise, wie die Empfindung von der Drehung des Bildes

auf der Netzhaut zur Construction unserer Vorstellung von der Bewegung des Objectes verwerthet würde, so müsste das Resultat der Wahrnehmung sein, dass sich die Furche parallel mit sich selbst von uns fortbewegt. Nun wird aber in Wirklichkeit conform dem oben ausgesprochenen Satze der erschlossene Antheil der Bewegung dem empfundenen gegenüber stark unterschätzt, und so kommt es, dass wir zwar merken, dass die Furche an uns vorübergeht; der Haupteindruck aber ist der, dass sich die Furche um den von uns fixirten Punkt dreht, diese Drehung würden wir nicht sehen wenn wir jenen erschlossenen Antheil der Bewegung nicht unterschätzen würden.

VI.

Bei Anstellung der in der vorhergehenden Notiz mitgetheilten Versuche an der rotirenden Trommel konnte es nicht ausbleiben, dass vielfach sogenannte Bewegungsnachbilder zur Anschauung kamen.

Da aber bei Anwendung des Fixationszeichens im Fenster des Schirmes immer nur ein kleiner und scharf begrenzter Theil der Netzhaut von den sich bewegenden Bildern der Streifen bestrichen wurde, so trat auch nur auf diesem Stück der Netzhaut das Bewegungsnachbild auf, und dieser Umstand gab Veranlassung zu folgender Bemerkung.

Hatten sich die Streifen innerhalb des viereckigen Fensters von links nach rechts bewegt, so bewegten sich, wenn man das Nachbild auf einen beliebig von Gegenständen erfüllten Raum projicirte, die in das Nachbild fallenden Objecte von rechts nach links, und zwar anfangs mit ganz erheblicher Geschwindigkeit. Das Nachbild hatte aber, wie gesagt, ganz scharfe Grenzen und alles was jenseits dieser Grenzen lag, blieb vollkommen ruhig. Man sah, dass sich die Theile im Nachbild stetig dem linken Rande desselben näherten, und sah sie doch gleichzeitig immer in constanter Entfernung von demselben. Man sah von einer verticalen Linie, deren mittlerer Antheil im Nachbild lag, diesen mittleren Antheil parallel mit sich nach links wandern, und sah doch die gerade Linie nicht in drei Stücke zerbrechen, sondern man sah sie entweder gerade bleiben, oder manchmal allerdings sich ein wenig nach links ausbiegen, aber durchaus nicht entsprechend dem durch die Geschwindigkeit im Nachbilde geforderten Maasse. Besonders gut sah man dies alles, wenn die Objecte, auf die das Nachbild fiel, nicht mit sehr grosser

Deutlichkeit gesehen wurden, ein Umstand, auf welchen auch Dvořák[1]) aufmerksam gemacht hat.

Dieselben Beobachtungen macht man, wenn man einen Punkt am Rande eines Wasserfalles längere Zeit hindurch fixirt, und dann den Blick auf einen ruhenden Theil der Landschaft, etwa auf eine stellenweise bewachsene Felswand wirft. Hier scheint bekanntlich der im Nachbild liegende Streifen der Wand emporzusteigen, der angrenzende Theil bleibt in Ruhe, ohne dass man jedoch eine Zerreissung der Grenzen oder der aus dem Nachbild in den ruhenden Theil hinüberragenden Baumstämme oder anderen Gegenstände bemerkt.

Aus alledem geht hervor, dass die Grundsätze der Logik, vor Allem der Satz vom Widerspruch, nur Geltung haben für Gedanken und Vorstellungen, aber nicht für unmittelbare Empfindungen.

---

[1]) V. Dvořák, Versuche über Nachbilder von Reizveränderungen, diese Ber. LXI. Bd., II. Abth. 1870, p. 2 des Sep.-Abdr.

VII.

Die Vertheilung der Sehnervenfasern über die Zapfen der menschlichen Netzhaut.

(Aus dem LXXXVII. Bande der Sitzb. der k. Akad. d. Wissensch. zu Wien. III. Abth.)

(Sitzung vom 10. Mai 1883.)

Die von Herrn F. Salzer in unserem Institute vorgenommenen Zählungen[1]) haben bekanntlich ergeben, dass im menschlichen Auge die Netzhaut in runder Zahl etwa drei und eine halbe Million Zapfen, der Sehnerv hingegen etwa eine halbe Million Fasern enthält, dass somit ungefähr sieben mal so viele Zapfen als Fasern vorhanden sind.

Unter der Voraussetzung, dass die von der Physiologie angenommenen Anschauungen über die Funktion der Zapfen einerseits, der Nervenprimitivfasern anderseits, die richtigen sind, ergiebt sich aus diesen Zahlen die folgende Schwierigkeit für das Verständniss.

Würde die Erregung eines jeden einzelnen Netzhautzapfens gesondert bis in das Central-Organ geleitet, so wäre mit der Anbringung von einer bestimmten Anzahl von Zapfen in der Netzhaut ein Apparat angelegt, welcher eine bestimmte Sehschärfe gewährleistet. Werden jedoch die Erregungen mehrerer Zapfen, einer „Gruppe“ von Zapfen, dem Central-Organ durch eine einzige Nervenfaser zugeleitet, so müsste hierin eine Anordnung erkannt werden, welche die durch die Gesammtzahl der Zapfen möglich gemachte Sehschärfe wieder verringert, dieselbe nämlich auf jenen Werth herabdrückt, welcher der Zahl der Nervenfasern oder — was dasselbe ist — der Zapfengruppen entspricht. Diese unvollständige Ausnützung der Zapfenzahl, dieser verhältnissmässig rohe Leitungsapparat, welcher die

---

[1]) F. Salzer. Ueber die Anzahl der Sehnervenfasern und der Retinazapfen im Auge des Menschen. Diese Ber. LXXXI. Bd. III. Abth.

Feinheit der Leistung des peripheren Endorganes durch seine numerische Unzulänglichkeit grossentheils wieder verwischt, enthält eine unzweifelhafte Schwierigkeit für unser Verständniss.

Diese Schwierigkeit wird eher vermehrt als vermindert, wenn wir bedenken, dass für die fovea centralis retinae, also für jene Netzhautstelle, welcher die grösste Sehschärfe zukommt, und in welcher Zapfen an Zapfen dicht gedrängt stehen, die experimentell ermittelte Sehschärfe genau der Feinheit der Zâpfenmosaik entspricht,[1]) dass somit für jeden Zapfen dieser Stelle eine Nervenfaser in Anspruch genommen werden muss, welche seine Erregung gesondert dem Central-Organe zuleitet. Hierdurch wird das Zahlenverhältniss zwischen Zapfen und Fasern für die übrige Netzhaut noch verschlechtert, wenn auch — wegen der sehr geringen Ausdehnung dieser Stelle — nicht in erheblichem Maasse. Da jedoch die Sehschärfe von der fovea centralis gegen die Peripherie der Netzhaut zu ganz allmälig abnimmt, so wird man auch für die ausserhalb der Netzhautgrube gelegenen Zapfen keine gleichmässige Versorgung mit Nervenfasern voraussetzen dürfen, sondern man wird annehmen müssen, dass von den Zapfen in unmittelbarer Umgebung der fovea centralis immer nur wenige, etwa zwei oder drei, eine von einer einzigen Nervenfaser versorgte Gruppe bilden, und dass die Zahl der Zapfen, welche eine Gruppe bilden und von einer einzigen Nervenfaser versorgt werden, mit zunehmender Entfernung von der fovea centralis, allmälig zunimmt.

Aus dieser Anordnung würde sich allerdings eine sehr beträchtliche Verschlechterung des gedachten Zahlenverhältnisses für die nahe der Peripherie gelegenen Netzhautstellen ergeben, so dass daselbst vielleicht erst auf je zwanzig oder dreissig Zapfen eine Nervenfaser käme.

Die Sehschärfe in stark indirectem Sehen, bei welchem eben diese Netzhauttheile functioniren, ist auch in Wirklichkeit eine äussert geringe, wofür allerdings auch schon die grössere Distanz zwischen den einzelnen Zapfen, also die geringere Zahl derselben auf der Flächeneinheit, einen Theil der Erklärung abgibt.

Nun hat aber mein Freund Sigmund Exner vor einiger Zeit auf einen Umstand aufmerksam gemacht[2]), welcher für die Be-

---

[1]) H. Helmholtz, physiologische Optik, und neuerdings die an Salzer's Zählungen anschliessende Inaugural-Dissertation von Claude du Bois-Reymond über die Zahl der Empfindungskreise in der Netzhautgrube. Berlin 1881.

[2]) Sigm. Exner. Ueber das Sehen von Bewegungen u. s. w. Diese Ber. LXXII. Bd. III. Abth. pag. 7 und 8 des Sep.-Abdr.

urtheilung der Leistungen der Netzhautperipherie sehr maassgebend ist. Nach seinen Beobachtungen, welche ich an meinen eigenen Augen vollkommen bestätigt finde, nimmt nämlich mit wachsender Entfernung von der Grube die Fähigkeit der Netzhaut, Bewegungen wahrzunehmen, bei weitem nicht in demselben Maasse ab, wie die eigentliche Sehschärfe. Das Vorhandensein eines Gegenstandes, dessen Bild auf die äusserste Peripherie der Netzhaut fällt, kömmt zum Beispiel gar nicht in unser Bewusstsein, und dennoch wird unsere Aufmerksamkeit sofort auch auf kleine Bewegungen dieses Gegenstandes gerichtet — wir vermögen absolut kein Urtheil über Form und Ausdehnung des Gegenstandes abzugeben, wissen aber mit grösster Sicherheit, dass sich derselbe bewegt.

Dies alles wird verständlich, und auch der Eingangs erwähnte Widerspruch wird behoben, wenn wir uns zu der an sich keine Schwierigkeit bietenden Annahme entschliessen, dass in der Netzhautperipherie die von einer Nervenfaser versorgten Zapfen nicht auch anatomisch eine Gruppe bilden, sondern mit Zapfen vermischt stehen, welche von anderen Nervenfasern versorgt werden. Die Sehschärfe an der aber ohnedies kaum mehr etwas zu verderben war, wird hiedurch allerdings noch weiter herabgesetzt, denn der Bezirk, von dem aus ein und dasselbe Localzeichen gegeben werden kann, wird noch grösser; aber dafür wird es unmöglich, dass selbst geringe Bildverschiebungen auf der Netzhaut stattfinden, ohne dass verschiedene Localzeichen nacheinander gegeben werden. Sowie das Bild von einem Zapfen, der zu einer bestimmten Nervenfaser gehört, auf einen benachbarten Zapfen überwandert[1]), der zu einer anderen Nervenfaser gehört, wird unsere Aufmerksamkeit erregt, und es erfolgt unwillkürlich eine Augenbewegung, welche den interessant gewordenen Theil des Gesichtsfeldes auf die fovea centralis fallen macht. Es wird durch eine solche Anordnung mit einer verhältnissmässig geringen Anzahl von Localzeichen eine Feinheit im Bemerken von Bewegungen erreicht, die sonst, nach der gewöhnlichen Vorstellungsweise, nur durch Anbringung von ausserordentlich viel mehr Nervenfasern und Localzeichen erreichbar wäre.

Auch die eigenthümliche, fast peinliche Art der Unsicherheit im Urtheil über Conturen und Formen wird durch diese Uebereinanderlagerung von Empfindungskreisen verständlich. Letztere

[1]) Oder auch nur das quantitative Verhältniss der Belichtung beider sich ändert.

Eigenthümlichkeit der Netzhautperipherie ist bei der raschen und vollkommenen Beweglichkeit des Bulbus kein wirklicher Nachtheil, hingegen leuchtet es ein, ein wie grosser Vortheil im Kampfe um's Dasein durch die Fähigkeit geboten wird, von jeder Bewegung innerhalb eines sehr grossen Raumwinkels, sofort unterrichtet zu werden, und dieser Vortheil wird unter den von uns gemachten Voraussetzungen mit einem Minimum von einander verschiedener Localzeichen erreicht. Wäre für jeden Zapfen auch in den peripheren Theilen der Retina eine eigene Nervenfaser vorhanden, so müsste deren Anzahl versiebenfacht werden und trotzdem würde die Sehschärfe der Peripherie gegen die der centralen Grube noch so weit zurückbleiben, dass das Bild eines Gegenstandes, um einigermaassen scharf gesehen zu werden, mittels einer Drehung des Bulbus auf letztere gebracht werden müsste. Es würde durch eine so beträchtliche Vermehrung der Nervenfasern und Localzeichen verhältnissmässig ausserordentlich wenig gewonnen. Würde anderseits die Gleichheit der Zahlen für Zapfen und Nervenfasern dadurch hergestellt, dass die Zapfenzahl auf die Zahl der in Wirklichkeit vorhandenen Nervenfasern reducirt würde, so würde, wegen der hieraus folgenden sehr grossen Entfernung der Zapfen in der Peripherie der Netzhaut von einander, eine so minimale Sehschärfe und zugleich eine so geringe Fähigkeit, Bewegungen wahrzunehmen, für das indirecte Sehen resultiren, dass die ganze übrige Netzhaut als eine ziemlich überflüssige und nutzlose Beigabe zur fovea und ihrer unmittelbaren Umgebung erscheinen würde.

Sind hingegen, wie wir annehmen, die Zapfen in der Peripherie in der Weise mit dem Centralorgane verbunden, dass ihrer mehrere oder viele eine physiologische Gruppe bilden, dass sie also alle zusammen mit einer einzigen Nervenfaser in Verbindung stehen, und dass somit von jedem Zapfen einer solchen physiologischen Gruppe aus dasselbe Localzeichen in's Centrum kommt, wie von jedem anderen Zapfen derselben Gruppe, so ist damit eine starke Verminderung der Zahl der Localzeichen gegeben. Bilden, wie wir ferner annehmen, die Zapfen einer solchen physiologischen Gruppe nicht sogleich eine anatomische Gruppe auf der Netzhaut, sondern sind sie vielmehr, innig gemischt mit Zapfen, welche einer oder mehreren anderen physiologischen Gruppen angehören und also andere Localzeichen auslösen, über einen etwas grösseren Bezirk der Netzhaut vertheilt, so wird hiedurch erreicht, dass schon mit ganz kleinen Bildverschiebungen auf der Netzhautperipherie der Uebergang von einem Localzeichen zu einem oder mehreren anderen

erfolgt — wir somit von dem Vorhandensein einer Bewegung überhaupt unterrichtet werden. Dazu aber, dass wir den Ort, an welchem die Bewegung stattfindet, mit einer hinreichend grossen Genauigkeit wahrnehmen, um danach eine zweckmässige Augenbewegung — möglicherweise reflectorisch — auszuführen, dazu sind auch nach unserer Voraussetzung die Empfindungskreise immer noch klein genug.

Nach einer sehr treffenden Bemerkung Brücke's[1]) dürfen die Werke der Natur nicht wie Menschenwerke beurtheilt werden, welch' letztere immer irgend jemandem Zeit und Mühe kosten; eine Ersparungsrücksicht in diesem Sinne kann also niemals in einer naturwissenschaftlichen Erwägung geltend gemacht werden. Ganz anders aber steht es mit den Localzeichen; diese kosten jemandem Mühe und Zeit, nämlich uns selbst, da wir sie uns erst durch Erfahrung nutzbar machen müssen. Es ist also im Geiste der Theorie von der Zuchtwahl und von der Anpassung eine Einrichtung allerdings wahrscheinlich gemacht, wenn von ihr gezeigt werden kann, dass durch sie ein bestimmter Zweck mit einer auffallenden Ersparung von Localzeichen erreicht würde. Die Localzeichen und ihre durch Erfahrung erworbenen Deutungen bilden so zu sagen eine continuirliche Belastung unseres Gedächtnisses und mit ihrer Zahl wächst diese Belastung und die Complicirtheit unserer geistigen Funktionen beim Percipiren.

Besteht nun die Netzhaut aus einem zum möglichst deutlichen Sehen bestimmten Theile — der fovea centralis und etwa ihrer nächsten Umgebung — und aus einem anderen, hauptsächlich zum Gewahren von Bewegungen bestimmten Theile, durch welchen wir erfahren, wohin wir mit der fovea centralis schauen sollen, dann wird, die Richtigkeit unserer Vermuthung vorausgesetzt, letztere Leistung auf eine solche Weise erreicht, dass hiedurch unser Gedächtniss und unsere auf Verwerthung von Localzeichen gerichtete psychische Thätigkeit möglichst wenig dauernd belastet ist, dass möglichst wenige Localzeichen dazu erforderlich sind.

Soll die von uns vermuthete Einrichtung wirklich bestehen, so müssen sich folgende Consequenzen derselben nachweisen lassen:

---

[1]) Ernst Brücke. Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie, I. Abhandlung. Diese Ber. LXXX. Bd. III. Abth. Juli 1879. pag 29 des Sep.-Abdr.

1. Es muss sehr viel mehr Zapfen als Nervenfasern geben. — Dass dem so ist, haben die Zählungen Salzer's ergeben[1]).

2. Es muss wegen des vielfachen und ausgiebigen Ineinandergreifens der Empfindungskreise eine diesem Umstande entsprechende eigenthümliche und besondere Art der Unsicherheit in der Deutung der peripherischen Netzhautbilder existiren. — Dass diese Unsicherheit vorhanden ist, ist bekannt; und wie sehr die besondere Art derselben der besonderen Ursache entspricht, aus welcher sie nach unserer Vorraussetzung herrührt, geht am besten aus folgender höchst charakteristischer Schilderung Brücke's[2]) hervor:

„Unser indirectes Sehen hat eine ganz andere Art von Unvoll„kommenheit, als diejenige ist, welche nur von Unvollkommenheit „der Netzhautbilder herrührt. Derjenige, welcher die Gegenstände „schlecht unterscheidet lediglich wegen Unvollkommenheit der Netz„hautbilder, der sieht die unvollkommenen Netzhautbilder an und „für sich deutlich, er kann ihre Fehler, wenn er die sonst dazu „nöthigen Kenntnisse besitzt, sehr bestimmt und sehr im Einzelnen „beschreiben. Jeder kann sich diese Art des undeutlichen Sehens „veranschaulichen, wenn er eine Linse vor sein Auge legt, welche die ‚Einstellung für die jeweilige Objectweite unmöglich macht. Ganz „anderer Art ist unser indirectes Sehen. Hier haben wir „nicht sowohl die Empfindung, dass die Bilder den Ob„jecten nicht entsprechen, als vielmehr die, dass wir von „den Bildern überhaupt keine hinreichende Kenntniss er„langen, um sie sicher beurtheilen zu können".

Diese Darstellung enthält einen zu klaren Nachweis davon, dass unser Postulat erfüllt ist, als dass es nöthig wäre, denselben noch besonders hervorzuheben, oder überhaupt irgend etwas hinzuzufügen.

3. Es muss der Netzhautperipherie ein auffallend grosses, zu ihrer geringen Sehschärfe in keinem Verhältniss stehendes Vermögen eigen sein, Bewegungen gewahr zu werden. — Dass dieses der Fall ist, geht aus Exner's[3]) Versuchen hervor. Ich selbst habe mich vielfältig davon überzeugt, und jedermann, der diese Versuche an-

---

[1]) W. Krause (Allg. und mikroskop. Anatomie, 1876) nimmt zwar ganz andere Zahlen an, als Salzer, das Verhältniss der Zapfen und Fasern ist aber auch nach ihm näherungsweise wie sieben zu eins.

[2]) l. c. pag. 10. — Die gesperrte Schrift im folgenden Citate rührt von mir her.

[3]) l. c.

stellt, wird zugeben, dass diesem Postulate in der Natur genügt ist.

Liegt nun schon in dem Umstande, dass alle aus unserer Hypothese abzuleitenden Consequenzen in so guter Uebereinstimmung mit der Erfahrung sind, etwas, was sie empfiehlt, so wird man hoffentlich um so eher geneigt sein, sie gelten zu lassen, als in ihrem Lichte eine an sich so räthselhafte Erscheinung, wie die der grossen Ueberzahl der Zapfen über die Nervenfasern, einfach und leicht begreiflich wird.

Zur Physiologie der Retina.*)

(Aus der Wiener Medizinischen Wochenschrift Nr. 10 und 11 vom 8. u. 15. März 1884.

Aus dem Umstande, dass die perzipirenden Oberflächen der menschlichen Sinnesorgane keine kontinuirlichen, sondern aus einzelnen, räumlich von einander getrennten, empfindlichen „Punkten‘ zusammengesetzte sind, ergeben sich zahlreiche wichtige Eigenschaften der Sinnesoberflächen.

Es sollen hier nun zunächst einige von den Eigenschaften der menschlichen Netzhaut betrachtet werden, welche von ihrem diskontinuirlichen Baue herstammen.

Die Fähigkeit, mit dem Auge Details zu erkennen, hängt von der Dichtigkeit ab, mit welcher die für Licht empfindlichen Punkte in der Netzhaut angebracht sind. Es ist also nothwendig, dass wir uns um die Zahl der lichtempfindlichen Elemente der Netzhaut und ferner darum kümmern, wie viel von denselben auf je eine Flächeneinheit der Netzhaut fallen. Die lichtempfindlichen Elemente der Netzhaut sind die Zapfen. Diese Annahme beruht auf vielen Gründen, von denen die folgenden angeführt werden mögen:

1. Die Schichte der Stäbchen und Zapfen fehlt in keinem Wirbelthierauge;

2. an der Stelle des deutlichsten Sehens, in der Fovea centralis, ist von sämmtlichen Elementen der Netzhaut nichts mehr übrig geblieben, als die Nervenfaserschichte und die Zapfen;

*) Diese Abhandlung, für einen grösseren und dem Gegenstande ferner stehenden Leserkreis bestimmt, beschäftigt sich vielfach mit demselben Thema wie die vorstehende. Sie holt, ihrer Bestimmung entsprechend, weiter aus, indem sie den Leser über den Stand der Frage, und die zum Verständniss nöthigen anatomischen Verhältnisse orientirt. Der Verfasser hat einen grossen Abschnitt aus der vorstehenden Abhandlung fast wörtlich in diese übertragen. Die wiederholten Stellen sind in Klammern gefasst. (Exner.)

3. die grösseren Blutgefässe der menschlichen Netzhaut liegen so ziemlich in einer Ebene. Nun kann man leicht ausrechnen welche Bewegung die Purkinje'sche Aderfigur machen muss, wenn sie bezogen wird auf eine beliebige Fläche hinter der Gefässschichte, Bei Berechnung des Abstandes zwischen der gefässführenden Schichte und derjenigen, auf welcher die Schatten aufgefangen werden müssen. damit sie solche Bewegungen machen, wie die sind, welche in der That beobachtet werden, ergibt sich eine Distanz, welche gerade von der Gefässschichte bis zur Oberfläche der Zapfen reicht.

Unter der Voraussetzung, dass die Zapfen die lichtempfindlichen Elemente der Netzhaut sind, hängt also die Sehschärfe von der Anzahl der Zapfen in der Flächeneinheit der Netzhaut, und — bei gegebener Grösse der Netzhaut — von der Gesammtzahl der Zapfen in der Retina ab. Anderseits hängt aber die Sehschärfe nothwendig von der Zahl verschiedener Eindrücke ab, die vom Auge ins Gehirn geleitet werden können. Nun ist es ein wohlbegründeter Lehrsatz der Physiologie, dass jede Nervenfaser nur Einen spezifischen Eindruck im Zentrum hervorzurufen im Stande ist; man kann also vermuthen, dass die Zahl von Nervenfasern, die vom Auge zum Gehirne gehen, ein Maass für die Sehschärfe des Auges sein möchte. Aus diesen Gründen war es daher interessant, die Zahl der Zapfen sowohl, als auch der Nervenfasern im Auge zu bestimmen. Dieser Aufgabe hat sich Herr Dr. Salzer unterzogen und dieselbe im Wiener physiologischen Institute mit Zuhilfenahme der folgenden Methoden gelöst.

Um die Zahl der Fasern im Optikus zu bestimmen, wurde der Nerv gehärtet und mit Osmiumsäure gefärbt, und wurden die Fasern innerhalb eines gegebenen Areales mit Hilfe eines in der Bildebene des Okulars angebrachten doppelten Fadenkreuzes an möglichst vielen Stellen des Querschnittes der Zählung unterworfen. Die Grösse des durch das Fadendoppelkreuz abgegrenzten Areales wurde auf gewöhnlichem mikrometrischem Wege bestimmt, und die Grösse des Sehnervenquerschnittes wurde dadurch bestimmt, dass man das Bild des Präparates mittelst eines auf das Okular aufgesetzten und mit einer matt geschliffenen Glasplatte versehenen dunklen Kastens auf die Glasplatte projizirte und auf ihr die Konturen des Bildes abzeichnete. Dann wurde die Entfernung zweier weit auseinander liegender Punkte der Zeichnung auf der Glasplatte direkt gemessen und die Entfernung der entsprechenden Punkte des Präparates auf mikrometrische Weise bestimmt. Diese beiden Messungen gaben die Reduktionszahl, die nöthig war, um aus der planimetrisch be-

stimmten Grösse der Zeichnung auf der Glasplatte die Grösse de wirklichen Sehnervenquerschnittes zu berechnen. Nun handelte es sich noch darum, die im Nerven vorkommenden Bindegewebssepta, die im Querschnitte als breitere und schmälere Strassen zwischen den Nervenbündeln erschienen, bei der Rechnung zu berücksichtigen. Es wurde zu diesem Zwecke auf der erwähnten Glasplatte eine Zeichnung von den Konturen des ganzen Querschnittes und von den Rändern der Bindegewebszüge hergestellt. Diese Zeichnung wurde sorgfältig auf Staniol übertragen und aus demselben Alles ausgeschnitten, was der Projektion des Bindegewebes entsprach. Diese Abschnitte wurden gewogen, ferner der Rest des Staniols, welcher somit bloss dem Nervenantheile entsprach. Diese beiden Gewichte wurden nun zur Reduktion verwendet. Es ergab sich, dass in den Sehnerven etwas weniger als eine halbe Million Sehnervenfasern enthalten sind.

Viel schwieriger war die Zählung der Zapfen. Zu diesem Zwecke wurde die Netzhaut neugeborener Kinder kurze Zeit nach deren Tod verwendet; die Netzhaut wurde, nachdem sie an mehreren Stellen eingeschnitten war, auf einer Fläche ausgebreitet und nun wurde nach einer der früheren ähnlichen Methode die Zahl der Zapfen bestimmt. Es zeigte sich, dass, je nachdem man in der Nähe der Fovea centralis zählt oder in der Peripherie, die Zahlen verschieden ausfallen. Die Abnahme der Zapfen von der Mitte gegen den Rand ist aber keine regelmässige, es wurde daher, da es vor Allem darauf ankam, sich vor einer Ueberschätzung der Zapfenzahl zu hüten, und da die grössten Zahlen nur für ein verhältnissmässig sehr kleines Gebiet der Retina Geltung haben, als Mittel diejenige Zahl angenommen, welche in der Mitte liegt zwischen dem wirklich bestimmten Minimum und einer anderen Zahl, von der man sagen konnte, dass sie jedenfalls an und für sich zu gross ist, als dass sie selbst für das Mittel angesehen werden könnte.

In der Fovea centralis selbst fielen auf das zur Zählung benützte Areal 32—36 Zapfen, unmittelbar daneben 26—28 und diese Zahl bleibt durch eine erhebliche Breite der Retina constant. Unter Zugrundelegung der angedeuteten Methoden für die Zählung und Rechnung ergab sich mit ziemlicher Uebereinstimmung in 7 Netzhäuten die Zahl von $3^1/_2$ Millionen Zapfen in der Netzhaut.

Soweit reicht die Arbeit von Salzer. Es ist gewiss erstaunlich, dass die Zahl der Zapfen nicht übereinstimmt mit der Zahl der Nervenfasern und man muss demgemäss eine oder die andere Hypothese fallen lassen. Entweder die, dass die Zapfen die Seh-

schärfe bestimmen, oder die, dass die Sehschärfe von der Zahl der Nervenfasern abhängt. Entscheidet man sich für die letzte Ansicht, dann ist die übergrosse Anzahl der Zapfen gegen jene der Nervenfasern unverständlich; entscheidet man sich für die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Zahl der Zapfen, dann würde man erst vor der Schwierigkeit der Frage stehen, wie es möglich ist, dass durch eine gegenüber der Zapfenzahl 7 Mal kleinere Zahl von Nervenfasern eine solche Summe von einander verschiedener Eindrücke von der Peripherie zum Zentrum geleitet werden kann. Seit Jahren besteht nun unter den Physiologen die Meinung, dass die Sehschärfe direkt von der Zahl der Zapfen abhängt. In neuerer Zeit hat Claude du Bois-Reymond, der Sohn des berühmten Berliner Physiologen, untersucht, ob die Sehschärfe in der Fovea centralis der Zahl von Zapfen entspricht, welche Dr. Salzer gefunden hat, nämlich 138 für jedes Hundertstel Quadratmillimeter. Die von ihm auf experimentellem Wege gefundene Zahl kommt jener von Dr. Salzer durch direkte Zählung gewonnenen ausserordentlich nahe, sie beträgt nämlich 142.

Jeder Zapfen in der Fovea centralis ist sonach ein Empfindungskreis, jeder Zapfen muss mit dem Gehirne durch eine eigene Nervenfaser verbunden sein. Da aber in der Umgebung der Fovea centralis die Sehschärfe noch eine sehr beträchtliche ist, so müssen wir uns die Vertheilung so vorstellen, dass in der Zone, die an die Mitte der Retina anstösst, je 2 Zapfen von einer Faser versorgt werden, in der daran grenzenden Zone 3 Zapfen u. s. w., dann bleibt für die äusserste Zone der Netzhaut ein überaus ungünstiges Verhältniss übrig, nämlich 30—40 Zapfen auf eine Nervenfaser, was an sich eine ganz unverständliche Verschwendung von Zapfen bedeuten würde.

Ueber diese Schwierigkeit gelangt man durch folgende Annahme hinweg: Das Auge ist ein Apparat, der aus einem kleinen Theile besteht, der zum scharfen Sehen geeignet ist, und aus einem anderen Theile, der dazu dient, uns zu unterrichten, welche Theile unseres Gesichtsfeldes wir zweckmässiger Weise besichtigen sollen. Es ist aber gewiss im Interesse der Erhaltung des Individuums gelegen und wird ein wichtiges Moment im Kampfe ums Dasein abgeben, wenn das Individuum auf solche Stellen in seinem Gesichtsfelde aufmerksam gemacht wird, an welchen eine Bewegung sich vollzieht oder zu vollziehen beginnt.

Exner hat nun darauf aufmerksam gemacht, dass die ganze Peripherie unserer Netzhaut ausgezeichnet ist durch ihre Fähigkeit

zur Wahrnehmung von Bewegungen; der Bewegungssinn der Netzhautperipherie ist zwar stumpfer, als der der Fovea centralis, aber der Unterschied ist bei weitem nicht so bedeutend, wie der zwischen den Sehschärfen an beiden Orten. Man nimmt im stark indirekten Sehen noch mit Sicherheit die Bewegung von Objecten wahr, von deren Form, Farbe und Grösse man wegen der geringen Sehschärfe am Netzhautrande keine Vorstellung hat. Man kann auch, wie ich mich auf das Bestimmteste überzeugt habe, bei äusserst kleinen Bewegungen stark indirekt gesehener Gegenstände die Bewegung als solche wahrnehmen, d. h. sich dessen bewusst werden, dass sich überhaupt in jener Gegend etwas bewegt, ohne eine Ahnung davon zu haben, in welcher Richtung die Bewegung stattfindet.

Ich stelle mir nun vor, dass die einzelnen Nervenfasern nach ihrem Eintritte in die Netzhaut sich theilen, und dass die Aeste zu den Zapfen hingehen; die Erregung eines jeden Zapfens, der in Verbindung steht mit einer Nervenfaser, mit welcher noch andere Zapfen in Verbindung stehen, können wir nicht unterscheiden von der Erregung dieser anderen Zapfen; ich denke mir ferner, [dass in der Netzhautperipherie die von einer Nervenfaser versorgten Zapfen nicht auch anatomisch eine Gruppe bilden, sondern mit Zapfen vermischt stehen, welche von anderen Nervenfasern versorgt werden. In der Mitte der Fläche, auf welcher die zu einer Nervenfaser gehörigen Zapfen vorkommen, stehen dieselben am dichtesten; je weiter von der Mitte entfernt, desto weniger dicht stehen die zu dieser Nervenfaser gehörigen Zapfen, desto mehr Zapfen, die zu einer anderen Nervenfaser gehören, schieben sich zwischen sie ein. Die Sehschärfe, an der aber ohnedies kaum mehr etwas zu verderben war, wird hierdurch allerdings noch weiter herabgesetzt, denn der Bezirk, von dem aus ein und dasselbe Localzeichen gegeben werden kann, wird noch grösser; aber dafür wird es unmöglich, dass selbst geringe Bildverschiebungen auf der Netzhaut stattfinden, ohne dass verschiedene Lokalzeichen nach einander gegeben werden, oder das quantitative Verhältniss der Erregung mehrerer Lokalzeichen sich ändert. Sowie das Bild von einem Zapfen, der zu einer bestimmten Nervenfaser gehört, auf einen benachbarten Zapfen überwandert, der zu einer anderen Nervenfaser gehört (oder auch nur das quantitative Verhältniss der Erregung beider Lokalzeichen sich ändert), wird unsere Aufmerksamkeit erregt, und es erfolgt unwillkürlich eine Augenbewegung, welche den interessant gewordenen Theil des

Gesichtsfeldes auf die Fovea centralis fallen macht. Es wird durch eine solche Anordnung mit einer verhältnissmässig geringen Anzahl von Lokalzeichen eine Feinheit im Bemerken von Bewegungen erreicht, die sonst, nach der gewöhnlichen Vorstellungsweise, nur durch Anbringung von ausserordentlich viel mehr Nervenfasern und Lokalzeichen erreichbar wäre.

Auch die eigenthümliche, fast peinliche Art der Unsicherheit im Urtheile über Kontouren und Formen wird durch diese Uebereinanderlagerung von Empfindungskreisen verständlich. Letztere Eigenthümlichkeit der Netzhautperipherie ist bei der raschen und vollkommenen Beweglichkeit des Bulbus kein wirklicher Nachtheil, hingegen leuchtet es ein, ein wie grosser Vortheil im Kampfe ums Dasein durch die Fähigkeit geboten wird, von jeder Bewegung innerhalb eines sehr grossen Raumwinkels sofort unterrichtet zu werden, und dieser Vortheil wird, unter den von uns gemachten Voraussetzungen, mit einem Minimum von einander verschiedener Lokalzeichen erreicht. Wäre für jeden Zapfen auch in den peripheren Theilen der Retina eine eigene Nervenfaser vorhanden, so müsste deren Anzahl versiebenfacht werden, und trotzdem würde die Sehschärfe der Peripherie (wegen der immerhin noch grossen Entfernung der einzelnen Zapfen von einander) gegen die der centralen Grube noch so weit zurückbleiben, dass das Bild eines Gegenstandes, um einigermaassen scharf gesehen zu werden, mittelst einer Drehung des Bulbus auf letztere gebracht werden müsste. Es würde durch eine so beträchtliche Vermehrung der Nervenfasern und Localzeichen verhältnissmässig ausserordentlich wenig gewonnen. Würde anderseits die Gleichheit der Zahlen für Zapfen und Nervenfasern dadurch hergestellt, dass die Zapfenzahl auf die Zahl der in Wirklichkeit vorhandenen Nervenfasern reduzirt würde, so würde, wegen der hieraus folgenden sehr grossen Entfernung der Zapfen in der Peripherie der Netzhaut von einander, eine so minimale Sehschärfe und zugleich eine so geringe Fähigkeit, Bewegungen wahrzunehmen, für das indirekte Sehen resultiren, dass die ganze übrige Netzhaut als eine ziemlich überflüssige und nutzlose Beigabe zur Fovea uud ihrer unmittelbaren Umgebung erscheinen würde.

Sind hingegen, wie wir annehmen, die Zapfen in der Peripherie in der Weise mit dem Centralorgane verbunden, dass ihrer mehrere oder viele eine physiologische Gruppe bilden, mit einer einzigen Nervenfaser in Verbindung stehen, und dass somit von jedem Zapfen einer solchen physiologischen Gruppe dasselbe Lokalzeichen ins

Centrum kommt, wie von jedem anderen Zapfen derselben Gruppe, so ist damit eine starke Verminderung der Zahl der Lokalzeichen gegeben. Bilden, wie wir ferner annehmen, die Zapfen einer solchen physiologischen Gruppe nicht zugleich eine anatomische Gruppe auf der Netzhaut, sondern sind sie vielmehr innig gemischt mit Zapfen, welche einer oder mehreren anderen physiologischen Gruppen angehören, und also andere Lokalzeichen auslösen, über einen etwas grösseren Bezirk der Netzhaut vertheilt: so wird hierdurch erreicht, dass schon bei ganz kleinen Bildverschiebungen auf der Netzhautperipherie der Uebergang von einem Lokalzeichen zu einem oder mehreren anderen, oder eine Aenderung in dem Verhältnisse der Erregungsintensitäten erfolgt — wir somit von dem Vorhandensein einer Bewegung überhaupt unterrichtet werden. Dazu aber, dass wir den Ort, an welchem die Bewegung stattfindet, mit einer hinreichend grossen Genauigkeit wahrnehmen, um danach eine zweckmässige Augenbewegung — möglicherweise reflektorisch — auszuführen, dazu sind auch nach unserer Voraussetzung die Empfindungskreise immer noch klein genug.

Nach einer sehr treffenden Bemerkung Brücke's dürfen die Werke der Natur nicht wie Menschenwerke beurtheilt werden, welch' letztere immer irgend Jemandem Zeit und Mühe kosten; eine Ersparungsrücksicht in diesem Sinne kann also niemals in einer naturwissenschaftlichen Erwägung geltend gemacht werden. Ganz anders aber steht es mit den Lokalzeichen; diese kosten Jemandem Mühe und Zeit, nämlich uns selbst, da wir sie uns erst durch Erfahrung nutzbar machen müssen. Es ist also im Geiste der Theorie von der Zuchtwahl und von der Anpassung eine Einrichtung allerdings wahrscheinlich gemacht, wenn von ihr gezeigt werden kann, dass durch sie ein bestimmter Zweck mit einer auffallenden Ersparung von Lokalzeichen erreicht würde. Die Lokalzeichen und ihre durch Erfahrung erworbenen Deutungen bilden, so zu sagen, eine kontinuirliche Belastung unseres Gedächtnisses, und mit ihrer Zahl wächst diese Belastung und Komplizirtheit unserer geistigen Funktionen beim Perzipiren.

Besteht nun die Netzhaut aus einem zum möglichst deutlichen Sehen bestimmten Theile — der Fovea centralis und etwa ihrer nächsten Umgebung — und aus einem anderen, hauptsächlich zum Gewahren von Bewegungen bestimmten Theile, durch welchen wir erfahren, wohin wir mit der Fovea centralis schauen sollen, dann wird, die Richtigkeit unserer Vermuthung vorausgesetzt, letztere Leistung auf eine solche Weise erreicht, dass hierdurch unser Ge-

dächtniss und unsere auf Verwerthung von Lokalzeichen gerichtete psychische Thätigkeit möglichst wenig dauernd belastet ist, dass möglichst wenige Lokalzeichen dazu erforderlich sind.

Soll die von uns vermuthete Einrichtung wirklich bestehen, so müssen sich folgende Konsequenzen derselben nachweisen lassen:

1. Es muss sehr viel mehr Zapfen als Nervenfasern geben. — Dass dem so ist, haben die Zählungen Salzer's ergeben.

2. Es muss wegen des vielfachen und ausgiebigen Ineinandergreifens der Empfindungskreise eine diesem Umstande entsprechende eigenthümliche und besondere Art der Unsicherheit in der Deutung der peripherischen Netzhautbilder existiren. — Dass diese Unsicherheit vorhanden ist, ist bekannt; und wie sehr die besondere Art derselben der besonderen Ursache entspricht, aus welcher sie nach unserer Voraussetzung herrührt, geht am besten aus folgender, höchst charakteristischen Schilderung Brücke's hervor.

„Unser indirektes Sehen hat eine ganz andere Art von Unvollkommenheit, als diejenige ist, welche nur von Unvollkommenheit der Netzhautbilder herrührt. Derjenige, welcher die Gegenstände schlecht unterscheidet lediglich wegen Unvollkommenheit der Netzhautbilder, der sieht die unvollkommenen Netzhautbilder an und für sich deutlich, er kann ihre Fehler, wenn er die sonst dazu nöthigen Kenntnisse besitzt, sehr bestimmt und sehr im Einzelnen beschreiben. Jeder kann sich diese Art des undeutlichen Sehens veranschaulichen, wenn er eine Linse vor sein Auge legt, welche die Einstellung für die jeweilige Objektweite unmöglich macht. Ganz anderer Art ist unser indirektes Sehen. Hier haben wir nicht sowohl die Empfindung, dass die Bilder den Objecten nicht entsprechen, als vielmehr die, dass wir von den Bildern überhaupt keine hinreichende Kenntniss erlangen, um sie sicher beurtheilen zu können."

Diese Darstellung enthält einen zu klaren Nachweis davon, dass unser Postulat erfüllt ist, als dass es nöthig wäre, denselben noch besonders hervorzuheben, oder überhaupt irgend etwas hinzuzufügen.

3. Es muss, ebenfalls wegen des vielfachen und ausgiebigen Ineinandergreifens der Empfindungskreise, die Wahrnehmung einer Bewegung überhaupt ohne gleichzeitige Wahrnehmung der Richtung der Bewegung möglich sein — vorausgesetzt eine so kleine objektive Bewegung, dass ihr auf der Netzhautperipherie eine Strecke von der Grössenordnung der Halbmesser der Empfindungskreise entspricht.

Unter „Empfindungskreis“ ist hier natürlich das Gebiet verstanden, auf welchem die zu einer Nervenfaser gehörigen Zapfen verstreut liegen, also ein Gebiet, von dessen verschiedenen Punkten aus ein und dasselbe Lokalzeichen gegeben werden kann.

Ich habe bereits oben erwähnt, dass diesem Postulate in Wirklichkeit entsprochen ist.

4. Es muss der Netzhautperipherie ein auffallend grosses, zu ihrer geringen Sehschärfe in keinem Verhältnisse stehendes Vermögen eigen sein, Bewegungen gewahr zu werden. — Dass dieses der Fall ist, geht aus Exner's Versuchen hervor. Ich selbst habe mich vielfältig davon überzeugt, und Jedermann, der diese Versuche anstellt, wird zugeben, dass diesem Postulate in der Natur genügt ist.

Liegt nun schon in dem Umstande, dass alle aus unserer Hypothese abzuleitenden Konsequenzen in so guter Uebereinstimmung mit der Erfahrung sind, etwas, was sie empfiehlt, so wird man hoffentlich um so eher geneigt sein, sie gelten zu lassen, als in ihrem Lichte eine an sich so räthselhafte Erscheinung, wie die der grossen Ueberzahl der Zapfen über die Nervenfasern, einfach und leicht begreiflich wird.]

Ueber die Theorien der Farbenwahrnehmung.

Nach einem in der k. k. Gesellschaft der Aerzte zu Wien gehaltenen Vortrag.
(Aus dem „Biologischen Centralblatt“ I. Jahrg. pag. 499. 30. November 1881.)

Dass wir überhaupt eine besondere Theorie der Farbenwahrnehmung nöthig haben, rührt daher, dass es in der Physiologie einen Grundsatz gibt, der unter dem Namen „Gesetz der specifischen Nervenenergie“ bekannt ist. Wenn dieses Gesetz nicht existiren würde, oder wenn wir irgend welche Berechtigung hätten, an seiner allgemeinen Giltigkeit zu zweifeln, dann würde die Aufstellung einer besonderen Theorie für die Thatsache, dass wir die uns umgebende Welt in Farben sehen, nicht nothwendig sein.

Die Schwierigkeit, welche durch diesen Lehrsatz eingeführt wird, ist sofort ersichtlich, wenn man sich mit einem bestimmten Fall der Gesichtswahrnehmung beschäftigt, sich zum Beispiel denkt, man blicke auf ein weisses Feld, in welchem eine rothe Linie gezogen ist. Es fallen bekanntlich von den einzelnen Punkten der rothen Linie Bilder auf die Netzhaut und veranlassen nun ein Gesehenwerden dieser rothen Linie. Man muss sich also denken, dass Nervenenden in der Netzhaut liegen, welche von dem Bilde der rothen Linie in einer gewissen Weise afficirt werden, man muss sich ferner denken, dass diese Affection nach einem bestimmten Centrum im Gehirn geleitet wird und in irgend einer Weise uns zu Bewusstsein kommt.

Wenn man sich vorstellt, an Stelle der rothen stände eine grüne Linie, so würde auf die Stellen der Netzhaut, die früher von rothem Licht getroffen wurden, nunmehr grünes fallen, und es könnte nach dem Gesetz der specifischen Nervenenergie die Erregung derselben Nervenenden durch grünes Licht in dem Centrum kein anderes Resultat hervorbringen, als die Erregung durch rothes Licht hervorgebracht hat. Denn das Gesetz der specifischen Nervenenergie

sagt, dass eine jede Nervenfaser nur eine bestimmte Empfindung im Centralorgan auslöst, ganz abgesehen vom Charakter der Störung oder der Einwirkung, welche peripher die Erregung der Nervenfaser angeregt hat. Wenn also das Gesetz der specifischen Nervenenergie richtig ist, dann ist es von vornherein ganz unverständlich, wie die Erregung eines Nervenendes einmal im Centrum die Vorstellung von etwas Rothem und das andere mal die Erregung desselben Nervenendes die Vorstellung von etwas Grünem, wieder in derselben Anordnung hervorrufen kann.

Obwohl das Gesetz der specifischen Nervenenergie in dieser Deutlichkeit in welcher wir es jetzt auszudrücken gewohnt sind, erst seit Johannes Müller ausgesprochen wird, und also in den allerersten Jahren dieses Jahrhunderts noch kaum gekannt war, gewiss aber nicht mit einem eigenen Namen bezeichnet wurde, so waren es doch die eben angestellten Erwägungen, welche Thomas Young veranlasst haben, eine Unverständlichkeit in dem Umstande zu finden, dass wir Farben sehen. Er hat auch sofort die Möglichkeit eingesehen, über diese Schwierigkeit hinwegzukommen, und diese Möglichkeit, welche er sich zunächst aufgebaut hat, nur um irgend einen Mechanismus zu haben, nach dem die Dinge möglicherweise ablaufen könnten, hat sich als so ausserordentlich geeignet erwiesen, alle Einzelnheiten in Uebereinstimmung mit den wirklichen Effekten unseres Sehapparats zu erklären, dass man später — und zwar theils er selbst, zumeist aber seine Nachfolger und besonders Helmholtz — daran gegangen ist, diesen Mechanismus, den Young gewissermassen nur als denkbare Möglichkeit hingestellt hat, zu einer Theorie der Farbenwahrnehmung auszubauen.

Der Gedanke Young's war der: Unendlich klein sind die Enden der Nervenfasern nicht, sondern sie haben eine bestimmte Grösse; und diese Grösse war trotz der zu Zeiten Young's vorhandenen geringen mikroskopischen Hilfsmittel doch schon mit einem verhältnissmässig hohen Grad von Genauigkeit bekannt. Man wusste, es könnten nicht so viele verschiedene Nervenenden auf einem kleinen Stück der Netzhaut vereinigt liegen, dass das Beeinflussen des einen Nervenendes in Beziehung auf die räumliche Vorstellung, die man sich von dem beeinflussenden Moment nachher macht, gleichwerthig wäre mit dem Beeinflussen eines andern Nervenendes, das etwa durch 10 oder 20 Nervenenden von dem ersten getrennt ist. Es liesse sich nun denken, dass für jede Farbe eine bestimmte Nervenfaser vorhanden ist und dass die Nervenenden in

der Netzhaut vielleicht insofern einen verschiedenen Charakter haben, als, wenn ein solches Nervenende erregt wird, ein rothes Bild entsteht, und wenn ein anderes erregt wird, etwa ein gelbes oder grünes Bild entsteht u. s. f. Es wäre ferner denkbar, dass, wenn das Bild einer rothen Linie auf die Netzhaut fällt, nur eben diejenigen Nervenenden, deren Erregung in unsrer Vorstellung die Empfindung „Roth" vermittelt, davon erregt werden und wenn an derselben Stelle das Bild einer grünen Linie entsteht, eben nur die von diesem Bilde getroffenen, die Vorstellung des Grünen vermittelnden, Nervenenden erregt werden. Eine derartige Vorstellung liesse sich indess nicht zur Theorie ausbilden; denn bei der ausserordentlichen Vielfachheit der Farben wäre eine so genaue Lokalisirung der Konturen nicht möglich wie wir sie in Wirklichkeit besitzen, wenn man für jede Farbennuance in der Netzhaut eine Nervenfaserendigung annehmen wollte. Wir sehen so ausserordentlich feine rothe und grüne Linien, dass, wenn man annehmen wollte, jedes hundertste Nervenende in der Netzhaut sei durch den Farbenton der rothen Linie, jedes hundertste für den der grünen Linie reizbar, dies mit der Thatsache des Sehens so feiner Linien unvereinbar sein würde. Und doch hätten wir dann erst die Fähigkeit hundert verschiedene Farben zu unterscheiden, erklärt, während wir in Wirklichkeit deren vielmehr unterscheiden. Denkt man sich aber eine Netzhaut mosaikartig aus Elementen zusammengesetzt, von denen nur jedes hundertste für rothes Licht empfindlich ist und stellt sich nun vor, dass das Bild einer sehr feinen rothen Linie auf diese Netzhaut fällt, so wird diese Linie vielfach unterbrochen oder gar nicht mehr gesehen werden, schon bei einer Breite, bei welcher wir sie in Wirklichkeit noch ganz deutlich und ununterbrochen sehen.

Durch ähnliche Erwägungen ist Young zur Aufstellung seiner Theorie gelangt. Er nahm an, es seien nur einige wenige wirklich verschiedene farbenempfindende Nervenapparate in der Netzhaut durch einander gemischt und legte sich dann die Frage vor: wie viele solcher verschiedenfarbiger Endapparate braucht man nothwendig, oder welches ist die geringste Zahl, mit der man auskommen kann? Die physikalische Untersuchung hat darauf geantwortet, dass man mit drei verschiedenen Farben auskommen könnte; d. h. es gibt Nervenenden, die, so oft sie gereizt werden, eine bestimmte Farbenempfindung im Centrum erregen; andere Nervenenden, die gereizt wieder eine andere Farbenempfindung geben und endlich wieder andere Enden, die eine dritte Farbenempfindung im

Centrum auslösen. Wenn man also nur diese drei Fasergattungen annimmt, so kann man daraus schon, bei dem Charakter der vorhandenen Farben, die Wahrnehmung aller möglichen Farben erklären. — Es genügt eine Dreiheit von Empfindungselementen, um alle möglichen Farben zusammenzusetzen. Natürlich ist es nicht gleichgiltig, wie man diese drei Empfindungen, die sogenannten „Grundfarben", wählt. Wenn man z. B. sagen würde, die eine Farbe soll roth sein, die andere orange und die dritte gelb, so würde man nicht einsehen können, wie man durch das Zusammenwirken dieser drei Fasergattungen in irgend einem Intensitätsverhältniss auf die Empfindung blau kommen sollte. Wenn man sie aber so annimmt, dass sie im Sonnenspectrum ziemlich weit auseinanderliegen, dann ist es vollkommen gleichgiltig, welche man wählt. Entscheidet man sich z. B. für Gelb, Blau und Purpur, so wäre das schon ausreichend. Thatsächlich ist es auch schwer, in dieser Beziehung zu einer bestimmten Wahl zu kommen. Anfänglich wählte Young Roth, Grün, Blau, dann ersetzte er indess Blau durch Violett.

Wir haben nun die Frage zu beantworten, wie man bei dieser Annahme alle Erscheinungen der Farbenwahrnehmung erklären kann. Dass wir eine rothe Farbe sehen können, ist leicht verständlich, wenn wir Nervenenden in der Netzhaut annehmen, die erregt in uns die Empfindung roth hervorrufen. Dass wir feine rothe Objecte genau sehen können, lässt sich unschwer begreifen, wenn man bedenkt, dass der dritte Theil aller Endapparate für solche rothe Fasern disponibel ist, da wir überhaupt nur dreierlei Fasern haben. — Dass man grüne Objekte sehen kann, ist auch verständlich, da wir dafür Fasern haben, die durch grünes Licht erregbar sind, und erregt im Centrum die Empfindung grün bedingen; aus demselben Grunde erklärt es sich, dass wir violette Objekte sehen. Wie sehen wir aber gelb oder blau u. s. w.? Auch das ist nicht schwer zu verstehen, wenn man sich vorstellt, dass die roth empfindenden Fasern nicht bloss angeregt werden, wenn wirklich Licht auf sie fällt, das einer bestimmten Wellenlänge entspricht, sondern dass sie auch — wenngleich nicht mit gleicher Intensität — erregt werden, wenn Licht von etwas anderer Wellenlänge auf sie fällt. Nehmen Sie z. B. eine Stimmgabel von einem bestimmten Ton und schlagen Sie diesen Ton an, so tönt die Stimmgabel mit einer gewissen Intensität mit. Sie kommt aber auch in, freilich schwächeres Mittönen, wenn Sie einen Ton erzeugen, welcher von dem Ton dieser Stimmgabel etwas verschieden ist.

Man hat sich also vorzustellen, dass die roth empfindenden Fasern durch rothes Licht sehr stark erregt werden, durch gelbes Licht schwächer, durch blaues und violettes Licht noch schwächer. Durch Licht von welcher Wellenlänge immer aber auch diese Fasern erregt sein mögen, welches immer die Stärke der Erregung in ihnen sein mag: der Effekt den diese Erregung im Centrum bedingt, ist ausschliesslich die Empfindung: roth. Wenn ich also das Sonnenspectrum darstelle, und für jede Farbe eine Höhe auftrage, welche andeutet, wie stark durch Licht von dieser Farbe die roth empfindenden Fasern erregt werden, so bekomme ich für die roth empfindenden Fasern eine Kurve von bestimmter Form. Durch rothes Licht werden diese Fasern am stärksten erregt werden; die Kurve wird also im Roth ihr Maximum haben und nach beiden Seiten abfallen; für die grün empfindenden Fasern bekommt man wieder eine andere Kurve; diese werden durch grünes Licht am stärksten erregt, durch gelbes und blaues Licht schwächer, durch rothes Licht noch schwächer und endlich durch violettes am schwächsten. Fällt also Licht von solcher Wellenlänge auf unsere Netzhaut, welche der uns gelb erscheinenden Stelle des Spectrums entspricht, dann haben wir uns vorzustellen, dass die Empfindung gelb das Resultat von den ziemlich gleich starken Erregungen der roth und grün empfindenden Fasern ist, so dass also das gelb, welches uns als etwas Einfaches, als etwas Einheitliches, als eine elementare Sinnesempfindung und nicht als etwas zusammengesetztes erscheint, physiologisch aus dem Zusammenwirken zweier grundverschiedener Nervenempfindungen entstanden sein soll. Ich will gleich hier bemerken, dass man der Young-Helmholtz'schen Theorie aus diesem Umstand, dass sie genöthigt ist, die Farben, die — wie man sagt — der Unbefangene für einfach hält, aus dem Zusammenwirken mehrerer grundverschiedener elementarer Apparate zu erklären, einen schweren Vorwurf gemacht hat, aber — wie ich auch hier gleich vorwegnehmen will — nach meiner Meinung mit grossem Unrecht. — In der gleichen Weise vermag die Young-Helmholtz'sche Farbentheorie auch die Empfindung des Blauen aus dem Zusammenwirken zweier verschiedener Nervenapparate zu erklären, indem sie die grün- und die violettempfindenden Fasern gleich stark erregt werden lässt. Hiergegen hat man nun eingewendet, es sei doch Violett etwas viel complicirteres als blau; es sei entschieden eine Verkehrtheit die einfache Empfindung blau aus dem Zusammenwirken von violett und grün zu erklären, da es doch viel einfacher sein würde, das Violett aus dem Zusammenwirken von roth und

blau zu erklären. Wir wollen diesen Einwand indess hier nur angedeutet haben und seine Beantwortung auf eine spätere Zeit verschieben.

Dass wir also überhaupt alle Farben sehen, lässt sich aus der Young-Helmholtz'schen Theorie ohne Schwierigkeit erklären. Nun gibt es aber gewisse Farben in der Farbenskala, die in ganz besonderer Beziehung zu einander stehen, indem sie einander zu weiss ergänzen. Auch dies ist aus der Young-Helmholtz'schen Theorie ebenso leicht zu erklären; ebenso die Thatsache, dass jedes farbige Licht von sehr grosser Intensität nicht in seiner Farbe, sondern weiss erscheint.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Erklärung der Nachbilder aus dieser Theorie geworden. Wenn man einen rothen Gegenstand längere Zeit angesehen hat und nachher auf eine graue Fläche blickt, so sieht man bekanntlich ein Bild, welches dem betrachteten rothen Gegenstand geometrisch ähnlich ist, aber in der complementären Farbe, in diesem Falle also blaugrün, erscheint. Dies erklärt sich nach der Young-Helmholtz'schen Theorie einfach durch die Annahme, dass die roth empfindenden Fasern dadurch ermüdet worden sind, dass rothes Licht auf sie gefallen ist, während die übrigen Fasern dadurch sehr wenig erregt, also auch wenig ermüdet worden sind. Betrachtet man dann an sich weisses Licht, welches nach der Voraussetzung von Young und Helmholtz alle Fasergattungen der Netzhaut gleich stark, oder graues Licht, welches sie alle gleich schwach erregt, nicht mit einer ausgeruhten, sondern mit einer Netzhaut, in welcher die roth empfindenden Fasern ermüdet, während die grün und violett empfindenden Fasern noch frisch sind, so wird das weisse Licht natürlich die grün und violett empfindenden Fasern stärker erregen, als die rothempfindenden und man wird das Nachbild in der complementären Farbe sehen. Auf die grosse Anzahl derartiger Details, welche durch diese Theorie ihre Erklärung gefunden haben und welche einen grossen Theil der physiologischen Optik ausmachen, kann hier indess nicht eingegangen werden. — Ebenso hat sich eine merkwürdige pathologische Erscheinung aus dieser Theorie erklärt, und zwar ist es Helmholtz selbst gewesen, der auf das häufige Vorkommen dieses pathologischen Zustands, der Farbenblindheit, aufmerksam gemacht, sie genau studirt und ohne Weiteres und mit Fug und Recht als Stütze für seine Theorie verwerthet hat. — Die weitaus grösste Menge der farbenblinden Männer — farbenblinde Frauen giebt es bekanntlich nur äusserst wenige — besteht aus Rothblinden, d. h. solchen,

denen nach der Ansicht von Helmholtz, die rothempfindenden Fasern fehlen. Diese Menschen haben also nur zwei Grundfarben und eine Menge zwischen ihnen liegender Uebergangsfarben, je nachdem durch eine bestimmte Lichtart die eine oder die andere der beiden bei ihnen vorhandenen Fasergattungen stärker erregt wird. Sie sehen ferner an einer Stelle des Spectrums, an der andere Menschen eine Farbe sehen, einen neutralen, also grauen Streifen; das ist eben jene Stelle des Spectrums, deren Licht die beiden bei ihnen vorhandenen Fasergattungen gleich stark erregt. Da nun grün und violett die beiden Farben sind, für welche die Fasern bei solchen Leuten vorhanden sind, so sieht ein solcher Mensch das eine Ende des Spectrums grün, das andere violett, und diese beiden Farben gehen durch einen unbestimmten Ton in einander über, welcher zwar eine gewisse Helligkeit, aber weder die eine noch die andere Farbe hat. Folglich gehen jene beiden Farben in einander über durch einen Ton, welchen diese Leute fortwährend mit grau verwechseln, weil eine graue Fläche ihre beiden Fasergattungen ebenfalls gleich stark erregt. Sie verwechseln deshalb jene Farbe, die für uns grünblau ist, fortwährend mit dem Rothen und auch mit dem Grauen.

In ähnlicher Weise lassen die Thatsachen der Grün- und Violettblindheit sich aus dieser Theorie erklären.

Nun dürfte es wohl allgemein bekannt sein, dass vor mehreren Jahren unser ausgezeichneter Prager Physiolog Hering[1]) eine neue Farbentheorie angegeben hat, welche, wie Alles, was von diesem Forscher kommt, originell, geistreich, ja, man kann sagen, genial ist.

Sie ist genial in der Einfachheit, mit welcher sich aus ihr leicht eine grosse Menge von Phänomenen erklären lässt und durch eine gewisse frische Auffassung der Natur. Sie hat so sehr den Charakter des Einfachen und leicht Verständlichen an sich, dass sie die Gunst der Ophthalmologen im Fluge sich erworben hat. Etwas zurückhaltender sind die Physiologen gewesen, und es haben sich in letzter Zeit solche Bedenken gegen diese Theorie geltend gemacht, dass ich glaube, die Zeit sei noch ferne, da man die Farbentheorie von Young-Helmholtz als etwas Erledigtes beiseite lassen könnte. Vielmehr wird man nach meiner Ueberzeugung auf jede Thatsache besonderes Augenmerk richten müssen, die zu einer Entscheidung zwischen beiden Theorien sich verwerthen

1) Wien, akad. Sitzungsber. LXIX, 179; LXX. 169.

lassen könnte und man wird vor Allem die Young-Helmholtz-sche Theorie nicht eher verlassen dürfen, als bis es gewiss ist, dass sich dieselbe durch die Hering'sche mit wesentlichem Vortheil ersetzen lässt.

Diese geht eben von der Einfachheit wie von einem Princip aus, indem sie sagt: Es giebt doch nichts Einfacheres, als weiss und schwarz; und um dies zu erklären, musstet Ihr drei Fasergattungen annehmen? Ebenso sind roth, gelb, grün, blau einfach, wie schon daraus hervorgeht, dass man ihnen in der Sprache eigene Namen — in der deutschen Sprache sogar einsilbige — gegeben hat, während man die übrigen nur durch Vergleich mit Naturgegenständen bezeichnet, z. B. mit einer Pomeranze (orange) oder mit einem Veilchen (violett). Gegen diese Behauptung lässt sich nichts einwenden; nur muss man im Auge behalten, dass kein Grund vorliegt, zu glauben, bei der Construction der Natur sei auf ihre Verständlichkeit für uns besondere Rücksicht genommen. Dass also eine Erklärung complicirt ist, ist noch kein Argument dafür, dass sie unrichtig ist. Man darf nicht vergessen, dass „Einfachheit“ in Hering's Sinn nichts Anderes ist, als Leichtverständlichkeit für uns.

Ein anderes ist es, wenn behauptet wird, die Empfindung gelb sei eine einfache Empfindung, und es sei unrichtig zu behaupten, dass sie aus roth und grün zusammengesetzt sei. Wenn man Jemand die Frage vorlegt, ob seine Empfindung von gelb aus den Empfindungen von roth und grün zusammengesetzt ist, so wird jeder unbefangene Mensch mit Nein antworten und behaupten, wenn er etwas gelbes ansehe, so sehe er eben nur gelb, und nicht roth und grün. Wenn auch dieser Grund ohne Weiteres sich nicht abweisen lässt, so ist er doch nicht einwandfrei. Fragt man einen Menschen, was er eine einfache Bewegung nennt, und ob eine wesentliche Complication zur Bewegung des Arms im Ellbogengelenk nothwendig sei, so wird er sagen: eine einfachere Bewegung als die Bewegung des Arms im Ellbogengelenk giebt es nicht; das ist eine einfache Bewegung. Er hält diese Bewegung für einfach, weil er sie sich als einen einfachen Willensakt vorstellt, von keiner Complication weiss, die zwischen Intention und Ausführung liegt und nur die letztere, ihm als etwas einfaches erscheinende, kennt. Nichtsdestoweniger wissen Sie, dass zwischen diesen einfachen Dingen ein sehr complicirter physiologischer Process liegt, dass verschiedene Nerven, verschiedene Muskeln in Anspruch genommen werden, dass also zwischen dem einfachen Willensakt und seiner einfachen Aus-

führung eine sehr complicirte Reihe von vielfachen anatomischen Apparaten und physiologischen Vorgängen liegen kann. Ebenso ist es nicht nothwendig, dass zwischen einer einfachen Wellenlänge und einer einfachen Farbenempfindung auch nur ein einfacher physiologischer Process eingeschaltet ist, sondern es kann ein Process von beliebiger Complication eingeschaltet sein, ohne dass wir es bemerken. Denn wir sind so gebaut, dass wir von den physiologischen Details, die unser Leben bedingen und ausmachen, nichts erfahren. Dass also Gelb und Blau uns einfach vorkommen, ist kein Grund dafür, dass ihr Gesehenwerden in Wirklichkeit auf einem einfachen physiologischen Process beruht.

Hering's Theorie behauptet nun, dass wir irgendwo eine Sehsubstanz haben — man muss ausdrücklich irgendwo sagen, weil er sich streng dagegen verwahrt, dieselbe mit Bestimmtheit in die Netzhaut zu verlegen — dass also irgendwo in dem Nervenapparat, den wir zum Sehen brauchen, mehrere Substanzen vertheilt sind, welche durch die Einwirkung des Lichts verschiedene Veränderungen erfahren. Am einfachsten ist dies zu verstehen, bezüglich dessen, was Hering schwarzweisse Sehsubstanz nennt. Er sagt, es giebt eine Substanz von der Beschaffenheit, dass, wenn sie aus den nächsten chemischen Constituenten aufgebaut wird, wir die Empfindung schwarz haben, wenn sie aus irgend einem Grund zerfällt, wir die Empfindung weiss haben. Mit andern Worten: Dissimilirung dieser Substanz gibt weiss, Assimilirung derselben gibt schwarz. Diese „schwarzweisse“ Substanz wird, wenn Licht irgend eines Grades und irgend einer Art auf sie fällt, immer theilweise zerlegt, und dieser Process bedingt dann, dass wir weiss sehen. Fällt weisses Licht auf sie, so sehen wir es als solches. Fällt farbiges Licht ein, so hat es, von welcher Farbe es immer sein mag, allemal auch eine dissimilirende Wirkung auf die schwarz-weisse Sehsubstanz, bedingt die Helligkeit (besser Weisslichkeit) der gesehenen Farbe. Diese Substanz ist, wie Alles im menschlichen Körper im stetigen Wechsel begriffen, im Stoffwechsel, und hierauf beruht es, dass, wenn wir die Augen schliessen, wir ein mittleres Grau sehen. Hering nennt es so, ebenso wie er den Zustand, in welchen unsere Augen kommen, wenn wir schwarz sehen, ein mittleres Grau nennt, wenn Assimilation und Dissimilation gleich stark sind. Dass diese Behauptung gegen die Natur spricht, auf die er sich so gern beruft, darüber hat Hering geschwiegen. Wirkliches Schwarz zu sehen — sagt er — dazu gibt es auf der Erde überhaupt kein Mittel.

Ebenso wie diese schwarzweisse gibt es auch eine rothgrüne

und eine blaugelbe Substanz. Wird die rothgrüne aufgebaut, sehen wir roth, wird sie zerlegt, sehen wir grün (oder umgekehrt). Doch wirkt, wie gesagt, farbiges Licht immer auch auf die schwarzweisse Substanz ein. — Einer der Hauptvortheile der Hering'schen Theorie ist, dass jene merkwürdige Thatsache, die ich bereits aus der Young-Helmholtz'schen Theorie erklärt habe, sich aus ihr einfacher erklären lässt. Wenn Menschen, welche rothblind sind, immer grün mit grau verwechseln, so fehlt ihnen nach Hering die rothgrüne Sehsubstanz; es ist also natürlich, dass sie auch nicht grün sehen, wenn sie roth nicht sehen. Die rothgrüne Sehsubstanz der Hering'schen Theorie ist eine Substanz, welche zwei einander complementäre Farben in unserm Bewusstsein hervorruft[1]), nämlich einmal — wenn sie aufgebaut wird — die rothe und das anderemal — wenn sie zerlegt wird — die der rothen complementäre blaugrüne, d. h. eine Farbe, welche an einer bestimmten Stelle im Spectrum liegt. Diese Farbe müssen also die Rothgrünblinden verwechseln sowohl mit roth wie mit grau. Wenn man aber einen Farbenblinden fragt — und ich habe das selbst versucht und genau geprüft —, welchen Theil des Spectrums er für ungefärbt hält, so findet man nie jenen Theil des Spectrums, welcher zu dem Rothen complementär ist, der ihm nach Hering's Theorie fehlen müsste, sondern jenen Theil des Spectrums, in welchem sich nach der Young-Helmholtz'schen Theorie die beiden andern Farbenkurven schneiden; es fehlt ihm also jene Farbe, die von Helmholtz als fehlend postulirt wird.

Es liesse sich noch Vieles über die Hering'sche Theorie und über die Schwierigkeiten, die sie darbietet, sagen. Es ist nach Helmholtz sehr begreiflich, dass es Menschen gibt, die rothblind sind, andere, die grünblind, andere die violettblind sind. Wieder Andern fehlen zwei Fasergattungen; diese Menschen haben dann ein monochromatisches (graues) Sehen, weil sie eben nur eine Art von Nervenfasern haben. Fehlen ihnen alle drei Fasergattungen, so sind sie ganz blind. Hering stellt nebeneinander die schwarz-weisse, die blau-gelbe und die roth-grüne Sehsubstanz. Er kennt Menschen, denen die rothgrüne Substanz fehlt (die Rothgrünblinden); andere denen die blaugelbe Substanz fehlt (die Blaugelbblinden). Man kann nun aber mit Recht fragen, warum er glaubt, dass Menschen nie die schwarz-weisse Substanz fehlt, oder wie diese Menschen sehen sollten? Diese müssten die Dinge alle farbig sehen, aber ohne Grad von

---

1) Sind Assimilation und Dissimilation in der roth-grünen Substanz gleich stark, so sehen wir grau oder weiss.

Helligkeit. Es scheint mir überhaupt ganz besonders unsern Empfindungen zu widerstreiten, dass wir die Helligkeit als eigene Sinnesqualität ansehen sollen, die von der Farbe ganz verschieden, ganz getrennt ist. Wir sind gewöhnt, Helligkeit als Grad der Farbe anzusehen, nicht als eigene Qualität.

Durch alle diese und sehr viel andere besonders in letzter Zeit häufig angestellte Erwägungen ist aber eine Entscheidung über die grössere oder geringere Berechtigung der einen oder der andern Theorie nicht zu gewinnen gewesen, und es haben sich deshalb Viele bemüht, zu einer wirklichen Entscheidung, zu einen experimentum crucis zu gelangen.

Gerade in der allerletzten Zeit sind wieder einige hierhergehörige Publikationen erschienen; doch muss ich — obwohl sich unter den Autoren sehr bedeutende Namen befinden und in den Publikationen sehr wichtige und interessante Dinge mitgetheilt sind — doch sagen, dass ich ein experimentum crucis, welches zwingen würde, sich wenigstens einstweilen für die eine oder die andere Theorie zu entscheiden, nur in zwei Abhandlungen gefunden habe, über welche ich noch kurz referiren möchte.

Die eine dieser Abhandlungen ist schon vor mehreren Jahren erschienen und hat Herrn v. Kries zum Verfasser (Arch. f. Physiol. 1878. S. 503). — Diese Arbeit ist in eine etwas complicirte Form gekleidet; sie beginnt gleich mit einem System von Gleichungen, und ich glaube gerade, dass diese mathematische Ausdrucksweise vielleicht Manchen abgehalten hat, die Abhandlung genau durchzulesen und ihren wertvollen Inhalt zu benützen. Prof. v. Kries sagt: Wenn ich einen rothen Gegenstand ansehe und meine Netzhaut dadurch für roth ermüde, so wird das nach Young's Theorie, sobald ich später einen grauen Gegenstand ansehe, ein blaugrünes Nachbild abgeben, und zwar wird es dabei gleichgiltig sein, ob dieser graue Gegenstand eine Mischung von weissem und schwarzem Pulver ist, oder eine Mischung von schwarzen und weissen Sectoren einer Scheibe, welche rasch gedreht wird; oder ob ich dieses Grau dadurch erzeugt habe, dass ich eine mit allen Farben des Spectrums versehene Scheibe rasch drehe. Es ist also ganz gleichgiltig, auf welche Weise das Grau der Fläche erzeugt und zusammengesetzt ist; sobald ich sie mit einem für roth ermüdeten Auge ansehe, werden die andern Fasern erregt, und ich sehe ein blaugrünes Nachbild. Das ist aber nicht ebenso der Fall, wenn die Hering'sche Theorie unserer Betrachtung zu Grunde gelegt wird. Wenn wir dies thun, so muss nach Kries der Erfolg ein anderer sein, je nach-

dem die graue Fläche grau ist, weil sie aus weiss und schwarz zusammengesetzt ist; oder grau ist, weil sie aus einem andern Paar von Farben zusammengesetzt ist, welche zusammen eben dieses Grau geben. Denn wenn ich ein für roth ermüdetes Auge von einem grauen Licht beeinflussen lasse, welches aus weiss und schwarz besteht, so wird die roth-grüne Sehsubstanz dadurch beeinflusst. Betrachte ich aber eine Fläche, die grau ist, weil sie aus blau und gelb zusammengesetzt ist, so wird das Grau auf meine roth-grüne Sehsubstanz nicht einwirken, und es ist nicht der mindeste Grund dafür vorhanden, warum ich ein grünes Nachbild sehen soll. Wenn man nun Versuche anstellt, so sieht man allerdings, dass kein Unterschied in den Einwirkungen einer wirklich grauen und einer aus blau und gelb gemischten Fläche besteht, falls man die Flächen so einrichtet, dass sie in einer Linie aneinander stossen. Diese beiden Flächen werden zuerst ganz gleich grau hergerichtet und dann werfen Sie auf diese beiden Flächen, da wo sie aneinander stossen, den Theil Ihres Sehfeldes, auf welchem das grüne Nachbild von einem rothen Kreise erscheint, den Sie vorher angesehen haben. Dann sehen Sie, dass das grüne Nachbild über beide Flächen in gleicher Weise weggeht. Das ist aber das Resultat der Helmholtzschen Theorie und spricht wider die Hering'sche Theorie. Hering hat auf die Einwände, die gegen seine Theorie gemacht werden, noch nicht geantwortet; aber dies muss eben abgewartet werden und es ist nicht ausgeschlossen, dass er einen Ausweg und eine Vertheidigung gegen diesen Einwand zu finden wisse; einstweilen steht v. Kries' Argument unangefochten da.

Ich komme nun zu den Abhandlungen, über die Macé und Nicati in der französischen Akademie der Wissenschaften Vorträge gehalten haben, welche in den Comptes rendus wiedergegeben sind und zwar in den Berichten über die Sitzungen vom 27. X. 79; 31. V. 80; 11. X. 80; 27. XII. 80; 13. VI. 81.

Diese scheinen uns für die ganze Lehre vom Sehen der Farben überhaupt ausserordentlich wichtig zu sein. Unter Anderm geht aus ihren Versuchen ein Resultat hervor, welches ich mit den Voraussetzungen der Hering'schen Theorie für unvereinbar halten muss. Die Art, wie diese beiden Herren ihre Versuche angestellt haben, ist so einfach und überzeugend, dass sie geradezu als mustergiltig hingestellt werden kann. Zunächst stellten sie sich die Aufgabe, zu erforschen, wie gross die Helligkeit ist, mit welcher wir die einzelnen Theile des Sonnenspectrums sehen, und zwar haben sie sich zur Festsetzung dieses Werths keiner complicirten photometrischen Me-

thode bedient, sondern die Helligkeit an dem gemessen, woran sie gemessen werden muss, wenn sie zur Entscheidung in solchen Fragen benützt werden soll — nämlich direct an dem Auge. Sie haben die Sehschärfe am normalen Auge bei Beleuchtung des Objects mit verschiedenen Theilen des Spectrums gemessen. Sie haben die Sehschärfe, welche ein normales Auge hat, wenn es einen Gegenstand mit dem hellsten Theil des Sonnenspectrums, nämlich mit dem gelben, beleuchtet ansieht, gleich 1000 gesetzt. Dann haben sie die Sehschärfe, welche man hat, wenn man dasselbe Object nicht mit dem gelben, sondern mit dem rothen Theil des Spectrums beleuchtet, gemessen und diese z. B. für das äusserste Roth ausgedrückt durch die Zahl 15.

Der Apparat, dessen sie sich zu ihren Messungen bedienten, bestand aus einem Spalt, durch welchen das Sonnenlicht eingelassen wurde, einem Prisma, in welchem das Licht zerlegt wurde und aus einem zweiten Spalt, durch welchen sie nur denjenigen Theil des Lichts durchliessen, den sie auf das Object fallen lassen wollten. Mit diesem Theil des Spectrums haben sie dann einfach ein Fixationszeichen, eine Mire beleuchtet. Diese bestand aus drei, millimeterbreiten Streifen, welche in Millimeterabstand von einander vor weissem Grunde gelegen waren. Die Mire wurde nun z. B. mit rothem Licht beleuchtet, während die Beobachter in bestimmter Entfernung von derselben sich befanden. Dann wurde die Gesammtmenge des auf das Prisma auffallenden Lichts so lange verändert, bis die Beobachter eben mit Deutlichkeit das Zeichen sahen; die Einstellung des Apparats, von der das Lichtmaass abhing, wurde gemessen, und diese Messungen für eine ganze Reihe von Versuchen ausgeführt, und zwar an verschiedenen normalsichtigen Individuen. Sie haben nun zunächst z. B. für rothes Licht, welches etwa der Frauenhofer'schen Linie *C* entspricht, eine Sehschärfe gleich 111 gefunden, also etwa den zehnten Theil des Werths, den man bekommt, wenn man dasselbe Object mit eben so viel gelbem Licht beleuchtet. Für das Licht, welches der Wellenlänge *D* entspricht, fanden sie die Sehschärfe gleich 768 (für ein Licht, welches nicht gerade durch eine Frauenhofer'sche Linie bezeichnet werden kann, hatten sie, wie schon oben bemerkt, 1000 gesetzt); für die Frauenhofer'sche Linie *E*, welche für grün als charakteristisch angesehen wird, bestimmten sie eine Sehschärfe gleich 314; für *F* im Blau eine Sehschärfe gleich 42 und für die Linie *G*, die tief im Violetten liegt, eine Sehschärfe gleich 0,2. Die Sehschärfe im violetten Licht ist also ausserordent-

lich gering, wie übrigens jeder weiss, der sich mit solchen Versuchen beschäftigt.

Dieselben Versuche haben nun beide Forscher auch mit farbenblinden Menschen angestellt. Auf diese Weise musste sich herausstellen, ob Rothblinde auch grünblind sind oder nicht. Denn wenn Jemand rothgrünblind ist, muss bei ihm nicht nur die Sehschärfe für das Rothe ansserordentlich viel geringer sein als bei normalsichtigen Menschen, sondern auch die Sehschärfe für das Grüne, da ihm die rothgrüne Sehsubstanz fehlt, welche zerlegt werden könnte.

M. und N. nahmen nun drei Rothblinde und einen Grünblinden für ihre Versuche, und legten für jeden eine Liste seiner Sehschärfen bei verschiedenen Spectralfarben an. Die Ziffern dieser Listen sind Verhältnisszahlen, bezogen auf die Sehschärfen normalsichtiger Personen für dieselben Farben; so dass, wenn der Untersuchte selbst normalsichtig für Farben wäre, seine Liste aus lauter Einern zu bestehen hätte. Ist aber z. B. seine Sehschärfe für eine Farbe = 100, für welche die Sehschärfe des normalen Auges = 300 ist, dann kommt in der Liste für diesen Farbenblinden zu der untersuchten Farbe die Zahl $^1/_3$ zu stehen; er hat eben für dieses Licht nur ein Drittel der normalen Sehschärfe.

Wenn ich nun hier einen Auszug aus diesen Listen mittheile und für den einen der Untersuchten zur Linie *C* die Zahl 0,143 schreibe, so sagt dies, dieser Mensch hat für rothes Licht, von der Wellenlänge *C* eine Sehschärfe, die ungefähr den siebenten Theil so gross ist, als die Sehschärfe eines normalsichtigen Menschen. Für Licht von der Wellenlänge *D* hatte dieser Mann auch nicht eine Sehschärfe 1, sondern 0,5; für Licht von der Wellenlänge des grünen Lichts die Sehschärfe 1,7. Diese einzige Zahl beweist schon, dass dieser Mann nicht seiner roth-grünen Sehsubstanz verlustig war, sondern dass er sogar für grünes Licht viel empfindlicher war, als ein normalsichtiger Mensch. Derselbe Mensch hatte für blaues Licht von der Linie *F* die Sehstärke 3,1 und für violettes Licht bei der Linie *G* finden wir sogar die Sehschärfe 5 angegeben. Ich möchte diesen Zahlen keinen absoluten Werth beimessen, weil es bei farbigem Licht, wie es hier beobachtet ist, schwer ist, sich nicht um grosse Beträge zu irren, aber das unterliegt keinem Zweifel, dass dieser Rothblinde Grün heller gesehen hat, als wir es sehen; dass man also die Irrthümer in seinen Farbenangaben nicht aus dem Fehlen einer roth-grünen Substanz bei ihm erklären kann.

Der Zweite von den Leuten hatte

für roth (*C*) die Sehschärfe	=	0,2
für die Linie *D*	=	0,7
" " " *E*	=	2,8
" " " *F*	=	3,0.

Noch weiter gegen das brechbare Ende des Spectrums zu nimmt seine verhältnissmässige Sehschärfe wieder ab. Analog sind die Zahlen für den dritten Rothblinden.

Der Grünblinde hatte für Licht von der Wellenlänge *C* eine Sehschärfe, welche 2,7 mal so gross war, als die eines normalsichtigen Menschen, dafür war seine Sehschärfe für gelbes Licht nur 0,5, für grünes Licht 0,2, für violettes hingegen wieder 2,1.

Das ist ein ausserordentlich wichtiges Resultat. Die Herren M. und N. sind sich dessen vollkommen bewusst, dass diese Zahlen mit der Hering'schen Theorie absolut unvereinbar sind, und sie sagen das auch mit emphatischen Worten. Sie unterlassen es aber einstweilen, auf eine naheliegende Deutung aus der Helmholtz'schen Theorie hinzuweisen, wenngleich ich nicht zweifle, dass die Herren Macé und Nicati auch auf diese Deutung verfallen sind. Man kann nämlich annehmen, dass die Rothblinden nicht einfach keine rothempfindenden Fasern gehabt haben, sondern vielmehr, dass die Fasern, welche bei normalsichtigen Menschen rothempfindend gewesen wären, bei ihnen, je nachdem, bei dem Einen ganz zu den grünempfindenden geschlagen oder bei dem andern zu den violett empfindenden oder in irgend einer Weise sonst zwischen Grünempfindung und Violettempfindung ausgetheilt worden sind. Dafür spricht auch, dass der rothblinde Mann für violettes Licht so empfindlich war. Endlich ist es sehr auffallend, dass der Farbenblinde, der für Grün eine so geringe Entscheidung hatte, für die beiden andern von Helmholtz als Grundfarben gewählten Farben eine so übermässige Empfindlichkeit hatte.

Ich bin nicht der Meinung, dass man aus diesen Daten ohne Weiteres auf die Unhaltbarkeit der Hering'schen Theorie schliessen kann, ebenso wenig, wie ich der Meinung war, dass man aus den Erörterungen von Prof. v. Kries ohne Weiteres ein Verdammungsurtheil über die Hering'sche Theorie aussprechen darf. Hering hat nur in vorläufigen Mittheilungen seine Ansichten dargelegt, es ist daher noch abzuwarten, was er auf alle diese Einwände antworten wird. Immerhin aber glaube ich zu der Behauptung berechtigt zu sein, dass bis jetzt weder die Helmholtz'sche Theorie widerlegt, noch aber die Hering'sche bewiesen ist.

Zur Anatomie und Physiologie der Retina*).

(Aus dem „Biologischen Centralblatt". III. Band. pag. 309 vom 15. Juni 1883 und pag. 331 vom 1. August 1883.)

Von den vielen Schichten, aus welchen die schalenförmige Endausbreitung des Sehnerven im Innern des Auges zusammengesetzt ist, wird der äussersten, das heisst der vom Mittelpunkte des Auges am meisten entfernten Schichte, welche aus stiftartigen, wie in einer Mosaikarbeit zur Fläche vereinigten Gebilden besteht, mit Recht das grösste Interesse zugewendet. Sie ist es nämlich, in welcher man aus überzeugenden Gründen das eigentliche periphere Ende des Sehnerven, die lichtempfindliche Schichte, die Sinnesoberfläche erblickt. Es liegt kein Anlass vor, die in alle Lehrbücher der Physiologie übergegangene Begründung dieser Anschauung hier ausführlich wiederzugeben. Nur hingewiesen sei darauf, dass die besondern Verhältnisse bei der subjectiven Wahrnehmung der Blutgefässe der Retina den Ort, an welchem sich diese Schichte befindet, als denjenigen erkennen lassen, auf welchen sich die Schatten der Gefässe projiziren müssen, um so zu erscheinen, wie sie wirklich erscheinen; dass an der Stelle des deutlichsten Sehens im Auge alle zwischen den Fasern des Sehnerven und den Stiften, welche diese Schichte zusammensetzen, gelegenen Gebilde fehlen, dass also die Netzhaut an der Stelle, an welcher sie am besten funktionirt, nur aus dieser Schichte und Leitungsfasern besteht; dass endlich in keinem Wirbelthierauge, bei aller sonstigen Verschiedenheit, diese Schichte fehlt. Letztere Thatsache ist allerdings in jüngster Zeit in Zweifel gezogen worden und zwar auf die angebliche Beobachtung hin, dass in den Augen von Tigern und einigen anderen Felinen die besprochene

*) Auch in diesem Aufsatze finden sich zwei längere Stellen, die ohne nennenswerthe Veränderungen aus vorstehenden Abhandlungen herübergenommen sind. Die Stellen sind durch Klammern kenntlich gemacht. (Exner.)

Schicht der Netzhaut, welche man als „Stäbchen- und Zapfenschichte“ oder als „musivische Schichte“ bezeichnet, fehlt, oder aber durch eine aus ganz andern Gebilden bestehende Schichte ersetzt sei. Doch handelt es sich bei diesen Beobachtungen gewiss nur um postmortale Veränderungen und Zersetzungen, welche zu stande kamen, ehe die die morphologischen Elemente fixirende und erhärtende Konservirungsflüssigkeit bis zu diesen vorgedrungen war; denn man findet gelegentlich an Augen von Thieren, an denen die musivische Schichte sonst jedesmal gesehen wird, die aber zufällig einer mangelhaften mikroskopischen Technik unterzogen wurden, genau dieselben scheinbaren Abnormitäten, welche jüngst an Tigeraugen beschrieben wurden.

Im menschlichen Auge besteht die musivische Schichte aus Stiften von zweierlei Form: aus „Stäbchen“ und „Zapfen“. Bei vielen Thieren sind diese beiden Formen nicht so scharf von einander verschieden wie beim Menschen, bei andern wieder findet sich nur eine einzige Form, und wieder bei andern kommen die Stifte in eigenthümlicher Weise zu Paaren vereinigt vor. Da wo Stäbchen und Zapfen vorkommen, speciell beim Menschen, nimmt man an, dass die Zapfen die eigentlichen Sehelemente (Boll) seien. Diese Annahme beruht auf der Thatsache, dass an den periphersten Theilen der Netzhaut, da wo das Sehvermögen am geringsten ist, fast nur Stäbchen vorkommen, dass in der Fovea centralis hingegen, also an der Stelle des deutlichsten Sehens, nur Zapfen sich finden, während in den mittlern Zonen der Retina Stäbchenreihen die Zapfen umgeben. Die Zapfen gelten also für die Sehelemente, d. h. man ist der Ansicht, dass die Zapfen die Angriffspunkte für die die Gesichtswahrnehmung bedingenden Reize sind, dass die verschiedenen Erregungen eines Zapfens sich nur durch ihre Stärke von einander unterscheiden können, und dass jeder Erregung eines Zapfens ein Empfindungselement und ein Localzeichen entspricht. Hiernach muss es für die Empfindung vollkommen gleichbedeutend sein, in welcher Weise die auf einen Zapfen fallende Lichtmenge auf diesem Zapfen vertheilt ist — solange kein Theil des Zapfens maximal erregt ist; es muss zum Beispiel gleich sein, ob die ganze Grundfläche des Zapfens von Licht mit der Intensität 1 oder die halbe Grundfläche von Licht mit der Intensität 2 getroffen wird: ob die obere oder die untere, die rechte oder die linke Hälfte der Grundfläche des Zapfens belichtet wird u. s. w.

Unter diesen Voraussetzungen hängt natürlich die Feinheit unseres Sehens von der Grösse, der Anzahl und der Entfernung der

Zapfen von einander ab. Je kleiner die einzelnen Zapfen sind und je dichter an einander gedrängt sie stehen, d. h. je mehr ihrer in der Flächeneinheit der Retina vorhanden sind, desto feiner wird unser Sehen sein, desto kleinere Details an den Bildern werden wir zu erkennen vermögen. Es knüpft sich also ein grosses Interesse an die Frage nach der Anzahl der Zapfen in einer Retina. Nicht minder wichtig scheint aber die Kenntniss der Anzahl von Nervenfasern zu sein, welche, im Stamme eines Nervus opticus vereinigt, ein Auge verlassen. Denn nach den vorderhand allgemein anerkannten Grundsätzen der Physiologie ist mit dieser letztern Zahl auch die Zahl der voneinander verschiedenen Einzelerregungen gegeben, die unserm Sensorium von einem Auge aus zukommen können. Jede der Fasern im Stamme eines Sehnerven ist Vermittlerin einer und zwar — so oft und wie immer sie auch erregt werden mag — immer einer und derselben Elementarempfindung. Nur dem Grade nach, sonst aber in nichts, können sich die Erregungen einer Nervenfaser für unser Sensorium von einander unterscheiden. Auch die Anzahl der im Sehnerven vorhandenen Fasern giebt uns also ein Maass — wenn auch kein so direktes, wie die Anzahl der in der Fovea centralis enthaltenen Zapfen — für die Feinheit unseres Sehens Es möchte nach dem bisher gesagten fast scheinen, als müsste die Zahl der in einem Auge vorhandenen Zapfen sich mit der Zahl der in dem zugehörigen Sehnerven enthaltenen Fasern decken; doch kann man diese Annahme nicht berechtigt nennen, solange man über die Rolle, welche die Stäbchen beim Sehen spielen, nichts weiss, und solange nicht die beiden Möglichkeiten, dass mehrere Nervenfasern zu einem Zapfen gehen, oder dass eine Nervenfaser zu mehreren Zapfen geht, ausgeschlossen sind, und solange überhaupt nichts Näheres über die Verbindung der Sehelemente mit den Nervenfasern bekannt ist.

Herr F. Salzer hat sich nun die Aufgabe gestellt, die Zahlen für die Zapfen in einer Retina und für die Fasern in einem Sehnerven zu ermitteln und hat diese Aufgabe im Wiener physiologischen Institute mit grosser Umsicht und Sorgfalt gelöst. Methode und Resultate seiner Untersuchung[1]) sollen zunächst in Kürze mitgetheilt werden.

Die Fasern wurden an den Sehnerven Erwachsener und zwar auf Querschnitten gezählt, welche dem Orbitaltheile des Nerven ent-

[1]) F. Salzer, Ueber die Anzahl der Sehnervenfasern und der Retinazapfen im Auge des Menschen. Wiener akad. Sitzungsber. LXXXI. Bd., III. Abt., Jännerheft 1880.

nommen waren. Der Nerv war nach der von Fleischl angegebenen Methode[1]) vor der Härtung mit Osmiumsäurelösung behandelt worden, wodurch die Erkennung und Zählung der Nervenfasern sehr erleichtert wird. Im Diaphragma des Oculares war durch Spinnwebfäden ein kleines viereckiges Areal abgegrenzt, dessen Bildwerth für die angewendete Linsencombination bestimmt war. Es wurden nun an besonders dünnen und deutlichen Stellen des Präparates die innerhalb des Viereckes liegenden Fasern gezählt. Um aus dem Mittelwerthe dieser Zählungen an einem Querschnitte auf die Gesammtzahl der in demselben enthaltenen Fasern schliessen zu können, musste das Areal des ganzen Querschnittes bekannt sein. Dieses wurde ermittelt, indem bei geringer Vergrösserung mit einer Camera obscura das Bild des ganzen Querschnittes gezeichnet und dann sowohl am Präparate (mittelst der gewöhnlichen mikrometrischen Methoden), als auch an der Zeichnung die Entfernung zwischen zwei bestimmten, einander ungefähr gegenüberliegenden Punkten der Peripherie gemessen wurde. Aus dem Flächeninhalt der Zeichnung, welcher mit dem Weltli'schen Planimeter gemessen wurde, liess sich dann leicht der des Querschnittes berechnen.

Nun sind bekanntlich im Sehnerven die einzelnen Faserbündel durch bindegewebige Scheidewände von erheblicher Dicke voneinander getrennt, welche auf dem Querschnitte als breite Strassen erscheinen. Das Gesammtareal dieser letztern musste von dem Areal des Nervenquerschnittes abgezogen werden, da der Zählung immer nur solche Stellen des Präparates unterzogen worden waren, welche frei von grössern Bindegewebzügen erschienen. Es wurde zu diesem Behufe mit der Camera obscura eine Zeichnung des Querschnittes und der darin vorkommenden stärkern Bindegewebssepta entworfen, diese auf Staniol übertragen und nun die Zeichnung der Bindegewebssepta ausgeschnitten und abgewogen. Ebenso wurde der Rest des Staniols, welcher den zwischen den Bindegewebsseptis liegenden Nervenbündeln entsprach, abgewogen. Die auf diese Weise gewonnenen Zahlen wurden in die Rechnung eingeführt und diese ergab als Mittel für die Zahl der Nervenfasern im Sehnerven (gewonnen aus drei verschiedenen Nervis opticis) die Zahl: 438000.

Die Anzahl der Zapfen in der Retina musste an Netzhäuten neugeborenener Kinder bestimmt werden, denn die so hinfälligen Gebilde der musivischen Schichte sind nach Ablauf der Zeit, welche nach unsern Gesetzen zwischen Tod und Obduction von Erwachsenen

[1]) E. Fleischl, Ueber die Beschaffenheit des Axencylinders. Festgabe f. Carl Ludwig S. 53.

verstreichen muss, zur Zählung nicht mehr geeignet. Nach der Angabe M. Schultze's ist übrigens die musivische Schichte beim neugebornen Kinde bereits vollkommen entwickelt, sodass nicht anzunehmen ist, dass nachträglich noch eine Aenderung in der Zahl der Zapfen stattfindet. An eine Verminderung der Anzahl der Zapfen während des Wachsthums ist gewiss nicht zu denken — und hierauf kommt es, wie sich bald ergeben wird, in diesem Falle hauptsächlich an.

Um eine Zählung möglich zu machen, musste die Retina auf eine ebene Glasplatte, einen grossen Objectträger ausgebreitet werden. Da nun die Netzhaut keine abwickelbare Fläche ist, so mussten einige radiäre Schnitte in ihr angebracht werden. Die Einzelheiten der Präparationsmethode übergehe ich und will nur noch anmerken, dass immer die ganze Netzhaut bis an ihre vordere Grenze — Ora serrata — präparirt wurde. Jede einzelne Zählung bezog sich wie bei den Nervenfasern auf ein kleines durch vier Fäden im Ocular abgegrenztes Areal. Die grösste Schwierigkeit erwuchs bei Bestimmung der Anzahl der Zapfen aus dem bereits angedeuteten Umstand, dass diese Gebilde sehr ungleich über die Netzhaut vertheilt sind. Das Gesetz ihrer Abnahme vom Centrum der Netzhaut gegen die Peripherie ist unbekannt und liess sich auch nicht mit ausreichender Genauigkeit bestimmen. Aus den in einer Retina durchgezählten Arealen das Mittel zu nehmen ging nicht an, weil diese Areale auch nicht annähernd gleichmässig über die Netzhaut vertheilt waren. Es erwies sich noch als das geeignetste, ein Mittel zu nehmen aus dem Minimum und dem Maximum der in einem Areal gefundenen Zapfenzahl. Als Minimum wurde hiebei der kleinste gefundene Werth in Rechnung genommen, als Maximum aber nicht wirklich der grösste gefundene Werth, sondern, da es sich besonders darum handelte, sich vor einer Ueberschätzung der Zapfenzahl zu bewahren, der kleinste derjenigen gefundenen Zahlenwerthe, „von denen man mit voller Bestimmtheit sagen konnte, dass sie zu gross seien, um für die betreffende Retina als Mittelwert der Zapfenanzahl" zu gelten. In der Fovea centralis selbst konnte bei drei Netzhäuten gezählt werden; und es zeigte sich, dass an dieser Stelle auf $^1/_{100}$ qmm 132—138 Zapfen stehen. Diesen hohen Werth als Maximum für die Mittelberechnung anzunehmen, wäre ganz unstatthaft gewesen wegen des sehr kleinen Gebietes der Netzhaut, für welchen er Geltung hat, und wegen der unverhältnissmässigen Anhäufung von Zapfen in eben diesem Gebiete. Die Gesammtoberfläche der Netzhaut wurde wieder mit dem Planimeter bestimmt und hiervon noch

die Oberfläche der zapfenlosen Stelle der Netzhaut, welche dem Sehnerveneintritt entspricht, abgezogen. Um dem Leser einigermassen ein Urtheil über die Berechtigung der angewandten Methode und über die Genauigkeit der Resultate zu ermöglichen, will ich die Resultate der Zählungen an einer der untersuchten sieben Netzhäute hierhersetzen. Die Zählungen innerhalb der Fovea centralis dieser Netzhaut ergaben für das Areal a: 32, 30, 29, 29, 27, 26, 25 Zapfen. Innerhalb desselben Areals a lagen an verschiedenen Stellen der Netzhaut (unter welchen auch ganz periphere): 26, 26, 26, 26, 26, 26, 24, 23, 22, 22, 22, 22, 22, 22, 22, 22, 21, 21, 21 21 Zapfen. Das Minimum der Zapfen wurde für diese Netzhaut mit Zugrundelegung der Zahl 21 gefunden zu: 3005100 Zapfen; das Maximum mit Zugrundelegung der Zahl 26 zu: 3 720 600 Zapfen. Es wurde also angenommen, dass in dieser Netzhaut 3 362 850 Zapfen sind.

Das Mittel aus den Mitteln der 5 Netzhäute, bei denen die sämmtlichen Operationen am tadellosesten vor sich gegangen waren, (und unter denen die eben besprochene sich nicht befand), ergab 3 362 210 Zapfen. Ein Vergleich mit der für die Nervenfasern in einem Sehnerven gefundenen Mittelzahl zeigt, dass auf jede Nervenfaser mehr als 7 Zapfen kommen. Selbst die grösste gefundene Zahl für die Sehnervenfasern, bei deren Bestimmung z. B. auf das Bindegewebe im Querschnitt des Nerven keine Rücksicht genommen wurde, und die sicher viel zu gross ist, beträgt weniger als ein Drittel des kleinsten Minimalwerths der Zapfen, der also sicher viel zu klein ist, indem ja für die ganze Netzhaut nur eine solche Dichte der Besetzung mit Zapfen vorausgesetzt wurde, wie sic an der zapfenärmsten Stelle dieser Netzhaut sich wirklich vorfand.

Wenn man annimmt, alle Optikusfasern seien mit Zapfen verbunden und vertheilen sich gleichmässig über sie, so ergiebt das Resultat dieser Zählungen, dass eine jede Optikusfaser sieben bis acht Zapfen versorgt.

Es hat sich somit jene Vorraussetzung, dass ebenso viele Zapfen in einem Auge als Nervenfasern in einem Optikusstamme sein müssten, welche wir oben als eine ungerechtfertigte bezeichneten, als in der Natur auch wirklich nicht erfüllt herausgestellt.

Schreiben wir jedem Zapfen eine Elementarempfindung und ein Lokalzeichen zu, so ist mit der ungeheuern Anzahl von Zapfen auf so kleiner Fläche eine bestimmte sehr grosse Sehschärfe angelegt, welche — unter Zugrundelegung der vorgetragenen Anschauungen über die Bedeutung der Nervenfasern — durch die verhältniss-

mässig geringe Anzahl derselben, also durch eine Mangelhaftigkeit des Leitungsapparates wieder vereitelt erscheint. Der Leitungsapparat ist sozusagen der Feinheit des Perceptionsapparats nicht gewachsen, und es erscheint diese letztere wie verschwendet.

Sehen wir also nach, welchem von beiden Apparaten unsere Sehschärfe in Wirklichkeit entspricht.

Genaue Beantwortungen dieser Frage liegen bloss für das directe Sehen, das heisst für das Sehen mit der Netzhautgrube, der Fovea centralis, vor und gehen alle einstimmig dahin, dass die Schärfe des directen Sehens genau der Feinheit der Zapfenmosaik in der Fovea centralis entspricht. Eine besonders sorgfältige Untersuchung in dieser Richtung verdanken wir Dr. Claude du Bois-Reymond, einem Sohne des grossen Physiologen, welcher in seiner Dissertationsschrift[1]) die zunächst zu referirenden Versuche und Betrachtungen veröffentlicht hat.

Herr Claude du Bois-Reymond sagt: Wenn wir n gleichmässig über eine Fläche zerstreute leuchtende Punkte auf ein quadratisches Feld der Fovea von 0,1 mm Seite wirken lassen, so müsste ein wesentlicher Unterschied des subjectiven Eindrucks beobachtet werden für die Fälle, dass n erheblich grösser oder kleiner als 132—138 ist. (Dies ist nämlich die von Herrn Salzer durch Zählung direct gefundene Zahl der Zapfen auf einem Quadrat der Fovea von 0,1 mm Seitenlänge.) Wächst die Zahl n allmählich an, so wird eine Grenzzahl ermittelt werden können; diese müsste dann der Salzer'schen nahe kommen.

Die Fragen, welche durch die von Claude du Bois-Reymond angestellten Versuche zunächst beantwortet werden sollen, lauten: Wie viele getrennte Lichtempfindungen werden auf $^1/_{100}$ qmm der Fovea centralis wahrgenommen; und wie viele sind mindestens erforderlich, um eine homogen erleuchtete Fläche vorzutäuschen? Die Versuche wurden nun so angestellt, dass von einem Planspiegel das Licht des Himmels in das sechs Meter vom Spiegel entfernte beobachtende Auge geworfen wurde. Das Auge lag unmittelbar an dem einen Ende einer innen geschwärzten, 2,5 cm weiten und 1 m langen Röhre, durch welche alles Seitenlicht von demselben abgehalten wurde. Ausserdem war auch zum gleichen Zwecke der Experimentirraum möglichst verdunkelt. Zwischen dem andern Ende der geschwärzten Röhre und dem Spiegel blieb

[1]) Ueber die Zahl der Empfindungskreise in der Netzhautgrube von Claude du Bois-Reymond. Berlin, 15. August 1881. Daselbst findet sich die übrige hierhergehörige Literatur citirt.

nun eine Distanz von 5 m. Diese wurde von einer Bahn eingenommen, längs welcher ein Schirm auf bequeme Weise verschoben werden konnte, welcher das Licht, das vom Spiegel kam, vom Auge abhielt. In den Schirm war das eigentliche Beobachtungsobject eingesetzt. Es bestand aus einem Staniolblatte, in dessen Mitte ein Quadrat von 5 cm Seitenlänge von regelmässig angeordneten Nadelstichen durchlöchert war. Jedes Loch hatte einen Durchmesser von $^1/_5$ mm, und von der Gleichheit der Löcher überzeugte man sich durch Prüfung mit dem Mikroskop. Die Löcher standen an den Durchschnittspunkten dreier Schaaren äquidistanter paralleler Linien, welche einander unter Winkeln von 60^0 schnitten, sodass alle Löcher gleichen Centralabstand (2,5 mm) von den Nachbarn hatten. Aus diesen Daten und dem jeweiligen Abstande des Schirms vom Auge liess sich leicht die Anzahl der Lichtpunkte berechnen, welche sich auf einer $^1/_{100}$ qmm grossen Fläche der Fovea centralis abbildeten.

Entfernt man nun den Schirm, während man eine Gruppe der hellen Punkte auf ihm fixirt, allmählich vom Auge, so findet man bald eine Entfernung, bei welcher die Punkte eben aufhören einzeln deutlich sichtbar zu sein und zu kurzen, unterbrochenen Linienstücken zu verschmelzen beginnen. Die Lage und Anordnung der Linien wechselt bei den geringsten Augenbewegungen. Die Entfernung des Schirmes vom Auge, bei welcher diese Erscheinung auftritt, wird notirt, und zwar im Protocolle des Verf. unter der Rubrik „E. P.“ („Entfernend“, nämlich: den Schirm, „Punkte“, nämlich: verschwinden).

Wird nun der Schirm noch weiter vom Auge abgerückt, so werden erst die Linien beständig, das Object ähnelt einem Drahtgitter, und dann werden die Linien matt und verschwinden endlich, indem das Feld nunmehr wie eine gleichmässig beleuchtete graue Fläche erscheint. Die Entfernung, in welcher dies stattfindet, wird als „E. L.“ notirt.

Auch in umgekehrter Ordnung wurde der Versuch angestellt, sodass der Schirm aus seiner entferntesten Lage allmählich an das Auge herangerückt wurde. Hiebei traten die Erscheinungen in umgekehrter Ordnung auf und man gewann zwei weitere Notirungen „N. L.“ (Nähernd Linien) und „N. P.“ —

Es ist wohl nicht nöthig, aller Controllversuche und Vorsichtsmassregeln zu gedenken, durch welche der Verf. sich vor Fehlern schützte; hingegen wird ein Vergleich der von ihm gefundenen Werthe mit den Zahlen Salzer's um so mehr interessiren. Ein

solcher folgt nun hier in wesentlichem Anschlusse an Claude du Bois' Gedankengang.

Die Mittelwerthe sämmtlicher Versuche über das Verschwinden oder Wiederauftauchen der einzelnen Punkte ergeben die Anzahl von 74 hellen Punktbildern auf $^1/_{100}$ qmm der Fovea; der Uebergang des Linienphänomens in das der gleichmässig grauen Fläche erfolgte bei im Mittel 149 hellen Punktbildern auf demselben Raume.

Stehen nun in der Fovea die Zapfen dicht aneinander gedrängt in Form regulärer, die Fläche völlig erfüllender Sechsecke beisammen, so ist es klar, dass, wenn auf einen bestimmten Theil dieser Fläche mehr Punktbilder fallen, als Sechsecke darin enthalten sind, auf jedes Sechseck mindestens ein Bild fallen muss, und dass alle Zapfen erregt werden, wie beim Anblick einer homogenen leuchtenden Fläche. Die Zahl der Punktbilder, bei welcher diese zu einer ganz einheitlichen Fläche verschmolzen — 149 — stimmt nun näherungsweise mit der Salzer'schen Zahl von 138 Zapfen auf dem gleichen Areal. Besser wird die Uebereinstimmung, wenn man das Mittel nur aus jenen Beobachtungen du Bois' nimmt, welche bei allmählicher Näherung des Schirmes gewonnen wurden. Diese geben das Mittel 140. Eine Berechtigung dafür diese Zahl zu betonen, findet du Bois in dem Umstande, dass das Urtheil über das Auftauchen einer Erscheinung sicherer ist, als das über ihr Verschwinden.

Soll ein Punkt als solcher isolirt gesehen werden, so ist die Bedingung hierfür, dass der Zapfen (das Sechseck), auf welchen sein Bild fällt, von lauter Zapfen unmittelbar umgeben sei, welche nicht belichtet sind, auf welche also kein Punktbild fällt. Dieser Fall aber kann, wie eine einfache Ueberlegung oder Konstruktion ergiebt, nicht eher eintreten, als bis die Zahl der Punktbilder auf oder unter die Hälfte der Zapfenzahl gesunken ist. Die halbe Salzer'sche Zapfenzahl ist 69; das Mittel sämmtlicher du Bois'scher Beobachtungen für das Punktphänomen ergiebt 74, das Mittel der vertrauenswürdigern, bei Annäherung des Schirmes gewonnenen Zahlen ist 72. Die Eigenthümlichkeiten und Details der Erscheinungen, welche auftreten, wenn Punktbilder auf die Zapfenmosaik auffallen in einer Anzahl, welche grösser als die halbe und kleiner als die ganze Zapfenzahl ist, vor allem die auftretenden Linien, erklären sich ungezwungen und durch einfache Konstruktionen aus der regelmässigen Anordnung der Zapfen und der regelmässigen Vertheilung der Punktbilder über sie.

Somit ist das Resultat der du Bois'schen Untersuchungen, dass die experimentell ermittelte Sehschärfe der Fovea centralis mit der direct ermittelten Anzahl von Zapfen in der Flächeneinheit der Fovea übereinstimmt. In dieser Uebereinstimmung liegt aber ein zwingender Beweis für den Satz, dass jeder Zapfen der Fovea ein Empfindungskreis ist, dass die Erregung eines jeden einzelnen Zapfens dieser Netzhautstelle gesondert ins Centralorgan geleitet und daselbst gesondert perzipirt wird.

So weit Claude du Bois-Reymond.

Dieses Resultat zwingt uns, unter Zugrundelegung der allgemein rezipirten Auffassung von der Natur und Leistung der Primitivnervenfasern, zu der Annahme, dass jeder Zapfen der Fovea centralis mit einer Nervenfaser in Verbindung steht, welche weiter keinen Zapfen als eben diesen einen versorgt.

Unter dieser Vorraussetzung aber wird natürlich das Verhältniss der ausserhalb der Fovea gelegenen Zapfen zu den für ihre Versorgung übrig bleibenden Nervenfasern ein noch grösseres sein, als das sämmtlicher Zapfen der Netzhaut zu sämmtlichen Fasern des Sehnerven, also grösser als 7 : 1. — Sehr beträchtlich wird allerdings dieses Verhältniss durch die Einzelversorgung der Foveazapfen nicht alterirt werden, denn die ganze Fovea ist sehr klein, und die absolute Anzahl der in ihr stehenden Zapfen ist sehr unbedeutend im Vergleiche mit der Gesammtzahl der Zapfen.

Lassen wir nun einstweilen die Stäbchen der Netzhaut und ihre etwaige Bedeutung für das Sehen ganz ausser betracht, so bleibt nichts übrig als die Annahme, dass von den ausserhalb der Fovea gelegenen Zapfen je mehrere von je einer Nervenfaser versorgt werden, das heisst durch sie in functionelle Verbindung mit dem Zentralorgane gesetzt werden.

Hier sind nun zunächst zwei Einrichtungen denkbar. Entweder es stellt jede Nervenfaser eine einzige Leitungsbahn vor, welcher auch im Zentralorgane ein einziges Localzeichen entspricht; und jede solche Nervenfaser theilt sich in der Netzhaut und tritt mit ihren Zweigen in Verbindung mit mehrern Zapfen, von denen dann natürlich jeder durch seine Erregung die Auslösung eines und desselben Localzeichens im Zentralorgane bedingen würde, sodass die Erregungen dieser zu einer Nervenfaser gehörigen Zapfen im Centralorgane nicht von einander zu unterscheiden wären. Das Gebiet der Netzhaut, in welchem solche zu einer Nervenfaser gehörige Zapfen stehen, wäre dann ein Empfindungskreis.

Oder in jeder scheinbar einfachen Nervenfaser sind so viele einzelne von einander funktionell isolirte Leitungsbahnen vereinigt, als Zapfen von ihr versorgt werden. In der Netzhaut würden dann diese schon in der Faser funktionell getrennten Leitungsbahnen auch anatomisch auseinandertreten und sich jede zu ihrem Zapfen begeben. Diese letztere Vorstellungsweise ist bei weitem die einfachere, nur liefert eben die sorgfältigste mikroskopische Untersuchung der Nervenfasern auch nicht den geringsten Anhaltspunkt für eine solche Vorstellung. Aus ihr würde übrigens für die ausserhalb der Fovea gelegenen Netzhautstellen nur eine solche Abnahme der Sehschärfe folgen, wie sie durch die Verschlechterung der optischen Bilder auf den Seitentheilen der Netzhaut und durch die grössere Distanz der Zapfen voneinander in eben diesen Theilen sich ergiebt. In Wirklichkeit ist jedoch die Verschlechterung des Sehens in der Netzhautperipherie eine viel zu grosse, als dass sie sich aus diesen Umständen erklären liesse, und auch von ganz anderer Art, als sie hiernach sein müsste. Auf diesen letztern Punkt, welcher von grosser Bedeutung ist, werde ich noch zurückkommen.

Wollte man diese Annahme einmal machen, so stünde natürlich dem nichts im Wege, sich so viele funktionell von einander verschiedene Leitungsbahnen in jeder Nervenfaser vereinigt zu denken, dass auch für jedes Stäbchen eine gesonderte Leitung zum Zentralorgane herauskäme. Da aber, wie bemerkt, nichts zu der Annahme berechtigt, dass in einer Nervenfaser mehrere Leitungsbahnen isolirt nebeneinander laufen und ausserdem beim Sehnerven sogar ganz bestimmte Gründe dagegen sprechen, so lassen wir diese Vorstellungsweise gleich hier fallen, um uns nicht wieder mit ihr zu beschäftigen.

Eine dritte, sehr sinnreiche, von Helmholtz herrührende Vermuthung über die Vertheilung der Sehnervenfasern auf die Zapfen wird im weitern Verlaufe dieser Darstellung ausführlicher besprochen werden.

Zunächst möchte ich eine Hypothese über die Vertheilung der Sehnervenfasern auf die Zapfen vorbringen, welche den Inhalt einer von mir am 4. Mai d. J. der kais. Akademie der Wissenschaften zu Wien vorgelegten kleinen Abhandlung bildet.[1])

Die Grundlage dieser Hypothese ist eine Thatsache, welche schon lange bekannt zu sein scheint, da z. B. Helmholtz in seiner

[1]) Im LXXXVII. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissenschaft. III. Abth. Mai-Heft, Jahrg. 1883.

physiologischen Optik (S. 66) auf sie, wie auf etwas allgemein Bekanntes anspielt. Doch ist meines Wissens zuerst von Sigm. Exner[1]) auf diese Thatsache ausdrücklich aufmerksam gemacht worden welche für die Beurtheilung der Leistungen der Netzhautperipherie sehr massgebend ist.

Nach Exner's Beobachtungen, welche ich an meinen eigenen Augen vollkommen bestätigt finde, nimmt nämlich mit wachsender Entfernung von der Grube die Fähigkeit der Netzhaut Bewegungen wahrzunehmen bei weitem nicht in demselben Masse wie die eigentliche Sehschärfe ab. Das Vorhandensein eines Gegenstandes, dessen Bild auf die äusserste Peripherie der Netzhaut fällt, kommt zum Beispiel gar nicht in unser Bewusstsein, und dennoch wird unsere Aufmerksamkeit sofort auch auf kleine Bewegungen dieses Gegenstandes gerichtet — wir vermögen absolut kein Urtheil über Form und Ausdehuung des Gegenstandes abzugeben, wissen aber mit grösster Sicherheit, dass derselbe sich bewegt.

[Dies alles wird verständlich und auch der Eingangs erwähnte Widerspruch wird behoben, wenn wir uns zu der an sich keine Schwierigkeit bietenden Annahme entschliessen, dass in der Netzhautperipherie die von einer Nervenfaser versorgten Zapfen nicht auch anatomisch eine Gruppe bilden, sondern mit Zapfen vermischt stehen, welche von andern Nervenfasern versorgt werden. Die Sehschärfe, an der aber ohnedies kaum mehr etwas zu verderben war, wird hierdurch allerdings noch weiter herabgesetzt, denn der Bezirk, von dem aus ein und dasselbe Lokalzeichen gegeben werden kann, wird noch grösser; aber dafür wird es unmöglich, dass selbst geringe Bildverschiebungen auf der Netzhaut stattfinden, ohne dass verschiedene Lokalzeichen nacheinander gegeben werden. Sowie das Bild von einem Zapfen, der zu einer bestimmten Nervenfaser gehört, auf einen benachbarten Zapfen überwandert[2]), der zu einer andern Nervenfaser gehört, wird unsere Aufmerksamkeit erregt, und es erfolgt unwillkürlich eine Augenbewegung, welche den interessant gewordenen Theil des Gesichtsfeldes auf die Fovea centralis fallen macht. Es wird durch eine solche Anordnung mit einer verhältnissmässig geringen Anzahl von Lokalzeichen eine Feinheit im Bemerken von Bewegungen erreicht, die sonst, nach der gewöhnlichen Vorstellungsweise, nur durch An-

[1]) Sigm. Exner, Ueber das Sehen von Bewegungen u. s. w. Wiener akad. Sitz.-Ber. LXXII. Bd. 3. Abth.

[2]) Oder auch nur das quantitative Verhältniss der Belichtung beider sich ändert.

bringung von ausserordentlich viel mehr Nervenfasern und Lokalzeichen erreichbar wäre. Auch die eigenthümliche fast peinliche Art der Unsicherheit im Urtheil über Kontouren und Formen wird durch diese Uebereinanderlagerung von Empfindungskreisen verständlich. Letztere Eigenthümlichkeit der Netzhautperipherie ist bei der raschen und vollkommenen Beweglichkeit des Bulbus kein wirklicher Nachtheil; hingegen leuchtet es ein, ein wie grosser Vortheil im Kampfe ums Dasein durch die Fähigkeit geboten wird, von jeder Bewegung innerhalb eines sehr grossen Raumwinkels sofort unterrichtet zu werden, und dieser Vortheil wird unter den von uns gemachten Vorraussetzungen mit einem Minimum untereinander verschiedener Lokalzeichen erreicht. Wäre für jeden Zapfen auch in den peripheren Theilen der Retina eine eigne Nervenfaser vorhanden, so müsste deren Anzahl versiebenfacht werden und trotzdem würde die Sehschärfe der Peripherie gegen die der zentralen Grube noch so weit zurückbleiben, dass das Bild eines Gegenstandes, um einigermassen scharf gesehen zu werden, mittels einer Drehung des Bulbus auf letztere gebracht werden müsste. Es würde durch eine so beträchtliche Vermehrung der Nervenfasern und Lokalzeichen verhältnissmässig ausserordentlich wenig gewonnen. Würde andererseits die Gleichheit der Zahlen für Zapfen und Nervenfasern dadurch hergestellt, dass die Zapfenzahl auf die Zahl der in Wirklichkeit vorhandenen Nervenfasern reduzirt würde, so würde, wegen der hieraus folgenden sehr grossen Entfernung der Zapfen in der Peripherie der Netzhaut von einander, eine so minimale Sehschärfe und zugleich eine so geringe Fähigkeit, Bewegungen wahrzunehmen, für das indirekte Sehen resultiren, dass die ganze übrige Netzhaut als eine ziemlich überflüssige und nutzlose Beigabe zur Fovea und ihrer unmittelbaren Umgebung erscheinen würde.

Sind hingegen, wie wir annehmen, die Zapfen in der Peripherie in der Weise mit dem Zentralorgane verbunden, dass ihrer mehrere oder viele eine physiologische Gruppe bilden, dass sie also alle zusammen mit einer einzigen Nervenfaser in Verbindung stehen, und dass somit von jedem Zapfen einer solchen physiologischen Gruppe aus dasselbe Lokalzeichen ins Zentrum kommt, wie von jedem andern Zapfen derselben Gruppe, so ist damit eine starke Verminderung der Zahl der Lokalzeichen gegeben. Bilden, wie wir ferner annehmen, die Zapfen einer solchen physiologischen Gruppe nicht zugleich eine anatomische Gruppe auf der Netzhaut, sondern sind sie vielmehr innig gemischt mit Zapfen, welche einer oder mehrern andern physiologischen Gruppen angehören und also andere Lokal-

zeichen auslösen, über einen etwas grössern Bezirk der Netzhaut vertheilt, so wird hierdurch erreicht, dass schon mit ganz kleinen Bildverschiebungen auf der Netzhautperipherie der Uebergang von einem Lokalzeichen zu einem oder mehrern andern erfolgt — wir somit von dem Vorhandensein einer Bewegung überhaupt unterrichtet werden. Dazu aber, dass wir den Ort, an welchem die Bewegung stattfindet, mit einer hinreichend grossen Genauigkeit wahrnehmen, um danach eine zweckmässige Augenbewegung — möglicherweise reflectorisch — auszuführen, dazu sind auch nach unserer Voraussetzung die Empfindungskreise immer noch klein genug.

Nach einer sehr treffenden Bemerkung Brücke's[1]) dürfen die Werke der Natur nicht wie Menschenwerke beurtheilt werden, welche letztere immer irgend jemandem Zeit und Mühe kosten; eine Ersparungsrücksicht in diesem Sinne kann also niemals in einer naturwissenschaftlichen Erwägung geltend gemacht werden. Ganz anders aber steht es mit den Lokalzeichen; diese kosten jemandem Mühe und Zeit, nämlich uns selbst, da wir sie uns erst durch Erfahrung nutzbar machen müssen. Es ist also im Geiste der Theorie von der Zuchtwahl und von der Anpassung eine Einrichtung allerdings wahrscheinlich gemacht, wenn von ihr gezeigt werden kann, dass durch sie ein bestimmter Zweck mit einer auffallenden Ersparung von Lokalzeichen erreicht würde. Die Lokalzeichen und ihre durch Erfahrung erworbenen Deutungen bilden so zu sagen eine kontinuirliche Belastung unseres Gedächtnisses, und mit ihrer Zahl wächst diese Belastung und Komplicirtheit unserer geistigen Funktionen beim Perzipiren.

Besteht nun die Netzhaut aus einem zum möglichst deutlichen Sehen bestimmten Theile — der Fovea centralis und etwa ihrer nächsten Umgebung — und aus einem andern, hauptsächlich zum Gewahren von Bewegungen bestimmten Theile, durch welchen wir erfahren, wohin wir mit der Fovea centralis schauen sollen, dann wird, die Richtigkeit unserer Vermuthung vorausgesetzt, letztere Leistung auf eine solche Weise erreicht, dass hierdurch unser Gedächtniss und unsere auf Verwerthung von Lokalzeichen gerichtete psychische Thätigkeit möglichst wenig dauernd belastet ist, dass möglichst wenige Lokalzeichen dazu erforderlich sind.

---

[1]) Ernst Brücke, Ueber einige Konsequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie, 1. Abhandlung. Wiener akad. Ber. LXXX Bd. III. Abth. Juli 1879. S. 29 des Sep.-Abdr.

Soll die von uns vermuthete Einrichtung wirklich bestehen, so müssen sich folgende Konsequenzen derselben nachweisen lassen:

1) Es muss sehr viel mehr Zapfen als Nervenfasern geben. — Dass dem so ist, haben die Zählungen Salzers ergeben[1]).

2) Es muss wegen des vielfachen und ausgiebigen Ineinandergreifens der Empfindungskreise eine diesem Umstande entsprechende eigenthümliche und besondere Art der Unsicherheit in der Deutung der peripherischen Netzhautbilder existiren. Dass diese Unsicherheit vorhanden ist, ist bekannt; und wie sehr die besondere Art derselben der besondern Ursache entspricht, aus welcher sie nach unserer Voraussetzung herrührt, geht am besten aus folgender höchst charakteristischen Schilderung Brücke's[2]) hervor:

„Unser indirektes Sehen hat eine ganz andere Art von Unvoll„kommenheit, als diejenige ist, welche nur von Unvollkommenheit „der Netzhautbilder herrührt. Derjenige, welcher die Gegenstände „schlecht unterscheidet lediglich wegen Unvollkommenheit der Netz„hautbilder, der sieht die unvollkommenen Netzhautbilder an und „für sich deutlich; er kann ihre Fehler, wenn er die sonst dazu „nöthigen Kenntnisse besitzt, sehr bestimmt und sehr im einzelnen „beschreiben. Jeder kann sich diese Art des undeutlichen Sehens „veranschaulichen, wenn er eine Linse vor sein Auge legt, welche „die Einstellung für die jeweilige Objektweite unmöglich macht. „Ganz anderer Art ist unser indirectes Sehen. Hier haben „wir nicht sowohl die Empfindung, dass die Bilder den „Objekten nicht entsprechen, als vielmehr die, dass wir „von den Bildern überhaupt keine hinreichende Kenntniss „erlangen, um sie sicher beurtheilen zu können."

Diese Darstellung enthält einen zu klaren Nachweis davon, dass unser Postulat erfüllt ist, als dass es nöthig wäre, denselben noch besonders hervorzuheben, oder überhaupt irgend etwas hinzuzufügen.

3) Es muss der Netzhautperipherie ein auffallend grosses, zu ihrer geringen Sehschärfe in keinem Verhältniss stehendes Vermögen eigen sein, Bewegungen gewahr zu werden. Dass dieses der Fall ist, geht aus Exner's Versuchen hervor (l. c.). Ich selbst habe mich vielfältig davon überzeugt, und jedermann, der diese Ver-

---

1) W. Krause, (Allg. und mikroskop. Anatomie 1876) nimmt zwar ganz andere Zahlen an, als Salzer; das Verhältniss der Zapfen und Fasern ist aber auch nach ihm annähernd wie sieben zu eins.

2) l. c. p. 10. — Die gesperrte Schrift im folgenden Citate rührt von mir her.

suche anstellt, wird zugeben, dass diesem Postulat in der Natur genügt ist.

Liegt nun schon in dem Umstande, dass alle aus unserer Hypothese abzuleitenden Konsequenzen in so guter Uebereinstimmung mit der Erfahrung sind, etwas, was sie empfiehlt, so wird man hoffentlich um so eher geneigt sein sie gelten zu lassen, als in ihrem Lichte eine an sich so räthselhafte Erscheinung, wie die der grossen Ueberzahl der Zapfen über die Nervenfasern, einfach und leicht begreiflich wird.]

Hier ist nun der Ort, die Seite 212 erwähnte Hypothese von Helmholtz ausführlicher zu besprechen. Sie findet sich vorgetragen in einer kurzen Einleitung, die Helmholtz zu der posthumen Publikation schrieb: „Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung[1]) von Franz Boll, dem zum grössten Schaden der Wissenschaft und zum tiefsten Leide aller, die ihn gekannt, so früh verstorbenen Forscher, dem genialen Entdecker des Sehroth und zahlreicher wichtiger histologischer Thatsachen. Dass diese unvollendete Abhandlung überhaupt abgedruckt wurde, war nicht nur an sich als ein Akt der Pietät, sondern auch durch ihre Fülle an originellen Gedanken vollkommen gerechtfertigt. Wenn ich nun trotzdem in dem vorliegenden Essay den Inhalt jener Abhandlung Boll's nicht vollständig wiedergebe, sondern nur gelegentlich einzelnes daraus vorbringe, so geschieht dies, weil es mir widerstrebt, Ansichten meines verstorbenen Freundes, welche dieser bei seiner grossen Gewissenhaftigkeit sicherlich nicht ohne feste Begründung öffentlich vorgebracht hätte, nunmehr mit ihrer oft nur andeutungsweisen Begründung einem grössern Publikum zu unterbreiten und hierdurch Proteste hervorzurufen, die — sofern sie sachlich gerechtfertigt sein mögen — Boll selbst gewiss zuerst gegen sich erhoben hätte. Da es ihm leider nicht beschieden war, seine in dieser Schrift ausgesprochenen Gedanken zu völliger Reife durchzuarbeiten, zu beweisen oder zurückzulegen, so mag ich nicht die billige Aufgabe übernehmen, in den Gedankenskizzen des Verstorbenen kritisch zu wählen.

Dieser Abhandlung Boll's hat nun E. du Bois-Reymond einige einleitende Worte und einen Brief von Helmholtz vorangeschickt, welcher Brief sich auf eine Besprechung mit Boll über Gegenstände der betreffenden Abhandlung bezieht; und dieser Brief

---

[1]) Du Bois-Reymond's Archiv für Physiologie 1881. Dreizehnte Mittheilung aus dem Laboratorium für vergleichende Anatomie und Physiologie zu Rom.

von Helmholtz enthält jene Hypothese über die Verbindung der lichtperzipirenden Elemente mit den Sehnervenfasern. Ich gebe sie — eine für uns ganz unbedeutende Auslassung ausgenommen — mit Helmholtz' eigenen Worten. Helmholtz macht die Annahme, „dass die peripherischen Empfindungsfasern .... ein anastomosirendes „Netz bilden, aus dem nur eine verhältnissmässig geringe Zahl von „zentripetal leitenden Fasern entspringen. Nimmt man an, dass „die Erregung jedes peripherischen Punktes[1]) sich in dem Netz „verbreitet und von den nächst gelegenen zentripetalen Fasern[2]) „stark, von den entferntern schwächer zu den Nervencentren geleitet „werde, so würde die Lokalisation auf Intensitätsabstufungen der „Empfindungen benachbarter sensibler Fasern zurückzuführen sein, „und dabei könnten für das zwischen den Mündungsstellen von nur „drei Fasern liegende Dreieck der empfindenden Fläche viele „Hunderte von unterscheidbaren Abstufungen der Gesammtempfin- „dungen hergestellt werden, die den Ortsveränderungen des gereizten „Punktes entsprächen. Eine solche Hypothese hatte ich mir längst „für den Tastsinn gebildet, um das lückenlose Ineinandergreifen der „Empfindungskreise und die feinere Ausbildung der Lokalisation „durch die Uebung zu erklären."

Dass diese Hypothese eine ausreichende Erklärung der grossen Ueberzahl der Zapfen über die Fasern enthält, sieht wohl jeder auf den ersten Blick. Nichtsdestoweniger glaube ich folgende Argumente vorbringen zu dürfen, welche mir mehr zu gunsten meiner Annahme als der Helmholtz'schen zu sprechen scheinen.

Dass unsere Sehschärfe in der Netzhautperipherie so ausserordentlich viel schlechter als im Zentrum ist, lässt sich durch die geringe Anzahl der Zapfen in der Flächeneinheit der Peripherie bei weitem nicht erklären. Ich erkläre es ungezwungen aus dem Umstande, dass in der Peripherie dreissig oder vierzig oder mehr Zapfen nur eine Nervenfaser und ein Lokalzeichen haben, im Zentrum hingegen jeder Zapfen seine eigene Faser hat. Nach Helmholtz müsste man aber annehmen, dass die schlechte Sehschärfe in der Peripherie aus dem Mangel an Uebung herrührt. Dies ist soweit ganz plausibel. Aber dann müsste sich die Schärfe des stark indirekten Sehens durch Uebung auch sehr beträchtlich verbessern lassen, eben bis zu der Grenze hin, die durch die geringere Zapfenzahl gesetzt ist. Dies ist aber nach meiner durch lange

[1]) Jedes Zapfens.

[2]) Sehnervenfasern.

Zeit und mit vieler Anstrengung hierauf bedachten Erfahrung keineswegs der Fall. Man erreicht durch alle Uebung nur eine geringe und immerhin zweifelhafte Verbesserung der indirekten Sehschärfe.

Ferner kann man, soviel ich weiss, auch die ganz besondere und eigenthümliche Art der Unsicherheit des Urtheils über indirekt Gesehenes, auf welche ich ein besonderes Gewicht lege, nach Helmholtz abermals nur durch Mangel an Uebung erklären. Aber dieser letztere erklärt wohl ganz leicht jeden beliebig grossen Grad, aber kaum eine andere Art der Unsicherheit des Urtheils. Wie will man es zum Beispiel aus einer andern Hypothese als der meinigen, speziell aus der Helmholtz'schen erklären, dass man, wie ich mich ganz bestimmt überzeugt habe, im stark indirekten Sehen eine sehr kleine Bewegung gewahren kann ohne eine Spur von Urtheil über die Richtung der Bewegung?

Schliesslich ist aus der Helmholtz'schen Annahme der so scharfe Bewegungssinn der Peripherie neben der geringen absoluten Sehschärfe — soviel ich ermessen kann — gar nicht zu erklären, während dieser merkwürdige Umstand aus meiner Annahme sich ganz von selbst ergiebt.

Die Thatsache aber, dass die mikroskopische Anatomie bisher nichts von dem von Helmholtz angenommenen Netze hat entdecken können, darf nicht gegen seine Annahme geltend gemacht werden; denn das Mikroskop hat uns überhaupt noch nichts über die Verbindung der Fasern mit den Zapfen gelehrt, und somit ist einstweilen jede Annahme hierüber eben so berechtigt, wie jede andere.

Eine hierher gehörige Frage ist die nach der Sehschärfe für farbige Objekte; denn alle bisher erwähnten Versuche über die Sehschärfe bezogen sich auf Objekte, an denen weisse mit schwarzen Stellen abwechselten. An solchen Objekten war eine befriedigende Uebereinstimmung zwischen der Sehschärfe und der Feinheit des Zapfenmosaik in der Fovea centralis constatirt worden. Wie sich diese Verhältnisse gestalten, wenn die zur Ermittlung der Sehschärfe dienenden Objekte farbiger Natur sind, ist eine von den Fragen, mit welchen sich eine vor vier Jahren erschienene Abhandlung E. v. Brücke's[1]) beschäftigt.

---

[1]) Ueber einige Konsequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie. I. Abhandlung. Wiener akad. Sitzungsberichte. LXXX. Bd. III Abth.

Der uns hier zunächst interessirende Theil dieser Abhandlung verfolgt einen Gedankengang, dessen Basis die Young-Helmholtz'sche Theorie[1]) ist. Diese nimmt bekanntlich drei verschiedene Arten von lichtempfindlichen Elementen an, von denen jede durch Licht von einer bestimmten Wellenlänge oder Farbe stark, durch anderes Licht aber schwach erregt wird. Gleichzeitige Erregung aller drei Arten von Endorganen in bestimmtem Intensitätsverhältnisse bringt in uns die Empfindung von Weiss hervor, während die ausschliessliche Erregung von Endorganen, welche für ein Licht von bestimmter Wellenlänge am empfindlichsten sind, in uns die Empfindung der dieser Wellenlänge entsprechenden Farbe hervorruft.

v. Brücke, welcher, wie wir es auch im Verlaufe dieser Darstellung gethan haben, die Zapfen der Netzhaut als die einzigen das Sehen vermittelnden lichtperzipirenden Endorgane des optischen Apparates ansieht, weist nun zunächst auf zwei mögliche Einrichtungen hin.

Es können nach ihm entweder in jedem Zapfen drei Elemente vereinigt sein, deren jedes für eine der drei oben erwähnten Lichtarten eine charakterische Empfindlichkeit hat — oder es kann jeder Zapfen als Ganzes für eine der drei Lichtgattungen empfindlich sein. Im letzteren Falle wäre dann wieder die nächstliegende Voraussetzung, dass ein Drittel aller Zapfen für rothes Licht, ein anderes Drittel für grünes, das letzte für violettblaues Licht empfindlich ist.

Im ersten Falle müsste aber die Sehschärfe für Objekte, die aus verschiedenfarbigen Theilen bestehen, eben so gross wie für solche sein, welche aus weissen und schwarzen Theilen bestehen. Dies ist leicht einzusehen. Wir haben ja schon bemerkt, dass die Sehschärfe von der Anzahl der lichtempfindlichen Elemente in der Flächeneinheit der Netzhaut abhängt. Da nun nach Brücke's erstem Falle jeder Zapfen für alle Farben empfindlich ist, so giebt es auf einem bestimmten Areale der Netzhaut ebenso viele für eine beliebige Farbe empfindliche Punkte, als es überhaupt lichtempfindliche Punkte in diesem Areale giebt, und somit wird die Sehschärfe für farbige und für schwarzweisse Muster dieselbe sein müssen.

---

[1]) Vergl. meine Darstellung derselben im Aufsatze: „Ueber die Theorien der Farbenwahrnehmung."

Im zweiten Falle aber kann nach v. Brücke die Sehschärfe für blosse Farbenunterschiede nur etwa $^3/_5$ von der Sehschärfe für schwarzweisse Muster, also für Helligkeitsunterschiede betragen. Dies wird durch beistehende Zeichnung ebenfalls leicht eingesehen werden. Hier stellen die einfachen Punkte roth empfindende Zapfen, die von einem kleinen Kreise eingeschlossenen blauviolett empfindende und die kleinen Kreuze grün empfindende Zapfen vor. Wie man sieht, ist hier die Annahme gemacht, dass die Zapfen in regelmässigster Anordnung auch bezüglich ihrer besondern Farbenempfindlichkeit gestellt sind. Für weisses Licht, für welches alle Zapfen erregbar sind, ist die Sehschärfe gegeben durch den geringsten Abstand zweier Zapfen von einander, also durch die Länge a der Linie rg.

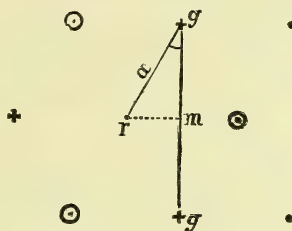


Fig. 1.

Für grünes Licht aber ist die Sehschärfe gegeben durch den geringsten Abstand zweier grün empfindender Zapfen, denn die andern Zapfen werden durch dasselbe kaum merklich erregt bei den Lichtstärken, für welche diese Betrachtung überhaupt einen Sinn hat. Der geringste Abstand zweier für dasselbe Licht — hier für grünes — erregbaren Zapfen ist aber gleich der Linie gg. Die Länge gg ist gleich zweimal der Länge gm. Da der Winkel bei g der halbe Winkel eines gleichseitigen Dreieckes ist, so beträgt er 30^0 und gm ist a. cos 30^0, folglich gg $= 2$ a cos 30^0.

Die Sehschärfe für weisses Licht war gemessen durch a, die für grünes durch 2 a. cos 30^0, die beiden verhalten sich also zu einander umgekehrt, wie 1 zu 2 cos 30^0, denn die Sehschärfe ist umso grösser, je kleiner die Distanz der Zapfen ist, durch die wir sie messen. Obiges Verhältniss ist aber ziemlich nahe gleich dem Verhältnisse von 3 zu 5. Wenn also die zweite Annahme v. Brücke's die richtige sein soll, so muss die Sehschärfe für schwarzweisse Muster ungefähr $1^2/_3$ mal so gross sein, als die für farbige. In Wirklichkeit hat sich nun bei zahlreichen in dieser Richtung angestellten Versuchen, an welchen sich ausser v. Brücke selbst noch andere Beobachter betheiligten, das genannte Verhältniss mit aller zu erwartenden Genauigkeit als das mittlere herausgestellt.

Diese zu erwartende Genauigkeit ist nun allerdings keine sehr grosse, und zwar aus folgenden Gründen.

Erstens müssen, wenn die angenommenen Distanzen ihre Berechtigung haben sollen, die zwischenliegenden Zapfen merklich unerregt bleiben, das heisst: die zur Prüfung verwendeten Farben müssen mit den physiologischen Grundfarben der Young-Helmholtz'schen Theorie merklich übereinstimmen, welcher Bedingung aus vielen hier nicht zu erörternden Gründen schwer oder gar nicht zu genügen ist.

Zweitens aber müssen bei der Prüfung der Sehschärfe für Farben wirklich blosse Farbenunterschiede und nicht auch gleichzeitig Helligkeitsunterschiede dem Auge dargeboten werden. Gleiche Helligkeiten verschiedener Farben herzustellen ist aber eine Aufgabe, die nicht nur eine sehr beschränkte Lösbarkeit, sondern überhaupt nur einen sehr beschränkten Sinn hat — Umstände, welche von v. Brücke in dieser, sowie besonders in einer zweiten Abhandlung[1]), über die nächstens referirt werden soll, sehr genau erwogen worden sind.

Soviel haben die Versuche v. Brücke's jedenfalls sichergestellt, dass, wenn man die Zapfen als die lichtperzipirenden Elemente ansieht und sich der Young-Helmholtz'schen Hypothese anschliesst, die weitere Annahme unausweichlich ist: dass es dreierlei Zapfen giebt, von denen jede Art für eine der drei Grundfarben erregbar ist.

In diesem Aufsatze, in welchem wir uns die Aufgabe gestellt haben, die unmittelbaren Konsequenzen der Annahme, dass die Zapfen die eigentlich lichtempfindlichen Elemente sind, zu entwickeln und zu prüfen, muss noch eines Phänomenes gedacht werden. Es ist dieses Phänomen von Helmholtz entdeckt und von ihm aus der anatomischen Anordnung der Zapfen und aus ihrer physiologischen Funktion als lichtperzipirende Elemente erklärt werden Helmholtz's schöne Idee hat allgemeinen Anklang gefunden und seine klassische Darstellung ist in viele Arbeiten aufgenommen worden, so auch in die oben erwähnten von Claude du Bois-Reymond und von Franz Boll. Auch hier soll zunächst Helmholtz's Gedanke mit seinen eigenen Worten wiedergegeben werden. [Bei Besprechung der Erscheinungsweise von Stabgittern, die sich in

[1]) Ueber einige Konsequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie. II. Abhandlung. Wiener akad. Berichte LXXXIV. Bd. III. Abt. 1881.

relativ grosser Entfernung vom Auge befinden, giebt Helmholtz[1]) folgende Beschreibung und Abbildung.

„Bei diesen Versuchen bemerkte ich eine auffallende Form- „veränderung der geraden hellen und dunkeln Linien. Die Breite „jedes hellen und jedes dunkeln Streifen des von mir gebrauchten „Gitters betrug $^{13}/_{24} = 0{,}4167$ mm. In dem Abstande von 1,1 bis „1,2 Meter fing die Erscheinung an sichtbar zu werden. Das Gitter „bekam etwa das Ansehen wie in Fig. 102A (s. d. nebenstehende „Fig. 2A), die weissen Streifen erschienen zum Theil wellenförmig „gekrümmt, zum Theil perlschnurförmig mit abwechselnd dickern und „dünnern Stellen. Es seien in Fig. 102 (2B) die kleinen Sechsecke „Querschnitte der Zapfen des gelben Flecks, a, b und c drei optische Bilder von den gesehenen Streifen; diese sind oberhalb dd in ihrer wirklichen Form dargestellt, unterhalb dd aber sind alle Sechsecke, deren grössere Hälfte schwarz war, ganz schwarz gemacht, deren grössere Hälfte weiss war, ganz weiss, weil in der Empfindung immer nur die mittlere Helligkeit jedes Elements wahrgenommen werden kann. Man sieht, dass dadurch in der „untern Hälfte von Fig. 102 (2) B ähnliche Muster entstehen wie „in A.“.

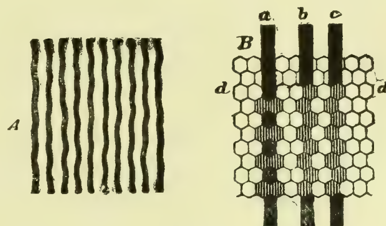


Fig. 2.

Gegen diese Erklärungsweise des sehr auffallenden Phänomens möchte ich mir nun einige Einwendungen erlauben[2]).

Warum erscheint nicht jede gut fixirte und scharf gesehene geradlinige Grenze zwischen zwei Farben oder zwei Helligkeiten gewellt? Und wie ist es zu verstehen, dass man Details am Rande eines gewellt erscheinenden Gitterstabes noch erkennt, welche feiner sind als die Wellenfigur selbst? Ich werde im weiteren Verlaufe dieser Darstellung die Bedingungen mittheilen, unter denen man die Stäbe und Zwischenräume eines Gitters, welches aus feinsten Laubsägeblättern zusammengesetzt ist, deutlich wellenförmig und dabei doch noch die Zähnelung mit einem solchen Grade von

[1]) H. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik, S. 217. in der 2. Auflage S. 257.

[2]) Die nun folgende Darstellung ist meiner Abhandlung: „Physiologisch-optische Notizen, 2. Mittheilung“ Wiener akad. Berichte LXXXVI. Bd. III. Abth. 1882, entnommen.

Deutlichkeit sieht, dass man wenigstens mit Leichtigkeit angeben kann, nach welcher Seite die Zähne sehen — obwohl die letztern ein in jeder Beziehung feineres Muster bilden als die Wellen. — In Wirklichkeit ist die Bedingung, dass das Netzhautbild des Gitters von derselben Feinheit sei, wie die Zapfenmosaik, gar keine Bedingung für das Gewellterscheinen des Gitters; und in Wirklichkeit erscheint allerdings jede geradlinige Grenze zwischen zwei Farben oder Helligkeiten gewellt, sobald sie unter die wahren Bedingungen des Versuches gebracht wird. Ehe ich zur Aufzählung meiner übrigen Einwendungen gegen die von Helmholtz gegebene Erklärung übergehe, will ich jene Bedingung namhaft machen, welche ich für die wahre Bedingung des Versuches halte.

Jedes Gitter, jeder Stab, jeder geradlinige Rand erscheint gewellt, sobald sein Netzhautbild — von welcher Grösse es immer sei — mit einer mässigen Geschwindigkeit über die Netzhaut hingleitet.

Man zeichne sich irgend ein Stabgitter auf einen Streifen Papier, etwa indem man mit der Reissfeder eine Schar paralleler Linien zieht, und wickle das Papier so um den Cylinder eines Kymographions, dass die Streifen vertikal stehen. Ich habe mich gelegentlich jener im Handel vorkommenden Schreibunterlagen bedient, welche mit dicken äquidistanten Linien bedeckt sind und vielfach verwendet werden, um Zeilenlänge und -Abstand regelmässig zu machen. Besonders mit einer solchen rastrirten Unterlage, bei welcher die Dicke der schwarzen Linien ca. 1,6 mm, die Breite der weissen Streifen aber ca. 5,5 mm betrug, habe ich einen grossen Theil der im folgenden zu beschreibenden Versuche angestellt.

Ist der mit vertikalen Linien bedeckte Streifen um die Trommel des Kymographions befestigt, so setzt man sich in bequemer Sehweite vor die gut beleuchtete Seite derselben und lässt sie durch das Laufwerk des Apparates drehen. Die schwarzen Streifen erscheinen nach wie vor geradlinig. Bringt man nun aber vor der Trommel auf einem eigenen Stativ ein kleines ruhendes Fixationszeichen an und fixirt es gut, während sich die Streifen hinter ihm vorüberbewegen, so erscheinen letztere im ganzen Felde des direkten Sehens wellenförmig verkrümmt. Dieses Phänomen tritt, wie gesagt, immer ein; es ist aber deutlicher und wird von Ungeübten leichter bemerkt, wenn für das Muster und die Umdrehungsgeschwindigkeit gewisse Verhältnisse nicht zu weit überschritten werden. Bei einer Breite der Streifen von etwa 7 mm, der Intervalle von etwa 1,5 mm

und einer Geschwindigkeit von beiläufig 15—20 mm in der Sekunde ist das Phänomen, aus einer Entfernung von 30—40 cm betrachtet, so in die Augen fallend, dass es nicht leicht von jemand unbemerkt bleiben wird. Es müsste denn eine des Fixirens vollkommen unfähige Person sein, und solcher Menschen giebt es allerdings mehr als man glaubt. Man überzeugt sich bei dieser Anordnung des Versuches leicht davon, dass man die Wellen nur in jenen Momenten sieht, in denen die Fixation gut ist; sobald man mit dem Auge den sich bewegenden Linien folgt, erscheinen diese wieder einfach geradlinig. Bei einiger Uebung im Beobachten dieses Phänomenes wird man desselben sehr häufig gewahr — sobald nur einigermassen die Bedingung des Versuches vorhanden ist. So habe ich z. B. die armdicken Stäbe des kolossalen Gitters von St. Peter in Rom, in der Loggia in 2 Schritt Entfernung vor ihnen stehend, deutlich wellenartig gekrümmt gesehen, als ich die Spitze meines Spazierstockes quer in Augenhöhe an ihnen vorüberführte und dieselbe mit den Augen fixirte.

Dass die von Helmholtz an entfernten feinen Gittern beobachtete Erscheinung mit der von mir an bewegten Gittern von beliebiger Grösse und Entfernung beobachteten identisch ist, scheint allerdings noch eines Beweises bedürftig. Ich finde denselben aber in folgenden Umständen.

Die Erscheinungsweise des Phänomenes ist in beiden Fällen ganz die gleiche — es ist mir nicht gelungen, irgend einen Unterschied in dem Charakter der Wellen aufzufinden.

Das Auftreten der Erscheinung bei der Helmholtz'schen Anordnung lässt sich sofort unterdrücken, sobald es gelingt, die Bedingung, welche sich nach meiner Anordnung als für das Zustandekommen der Erscheinung massgebend herausgestellt hat, zu eliminiren. Sieht man also die Stäbe eines Gitters nur mehr unter Gesichtswinkeln von ca. 1', so verschwindet das Wellenphänomen in den Zeiten absoluter Fixation des Blickes oder in den Zeiten, während welcher die Blickbewegung den Stäben merklich parallel ist.

Die Meinung, dass man die Wellen nur dann sieht, wenn die Netzhautbilder so fein sind wie die Zapfenmosaik, hat sich offenbar auf folgende Weise gebildet. Solange man ein Gitter mühelos deutlich sieht, hat man gar keine Veranlassung, das Auge regelmässig quer zu den Stäben zu bewegen; das Auge findet an den deutlich gesehenen Linien hinlängliche Anhaltspunkte zum Fixiren und macht höchstens einigermassen regelmässige Bewegungen in der

Richtung der Linien. Erst wenn bei zunehmender Entfernung die Linien anfangen undeutlich zu werden, hören sie auf, gute Fixationsobjekte für das beobachtende Auge abzugeben, und dieses schwankt nun an einem keine Anhaltspunkte darbietenden Objekte nach allen Richtungen umher, wobei jedes Mal, wenn sich die Richtung der Augenbewegung mit der der Stäbe unter einem etwas grössern Winkel schneidet, die Wellenfigur erscheint.

Ebenso wie die Forderung der Kleinheit der Netzhautbilder muss ich auch die an demselben Orte ausgesprochene Forderung einer genauen (nöthigenfalls durch Brillen zu unterstützenden) Akkomodation des Auges für die Entfernung des Gitters für unwesentlich halten. Arbeitet man unter den von Helmholtz angegebenen Bedingungen, dann ist natürlich scharfe Einstellung des Auges unerlässlich, da ja unter diesen Verhältnissen bei ungenauer Einstellung überhaupt keine Linien, also auch keine gewellten gesehen werden; macht man aber den Versuch mit sich bewegendem Gitter und fixirendem Auge, dann kann das Fixationszeichen sehr viel näher am Auge liegen als das Gitter, ohne dass die Erscheinung an Deutlichkeit abnimmt; ja ein gewisser Grad von Ungenauigkeit der Akkomodation ist ihrem Zustandekommen sogar günstig. So sehe ich die Wellen z. B. sehr schön, wenn die Entfernung des sich bewegenden Gitters von einem meiner (emmetropischen) Augen 400 mm, die Entfernung des Fixationszeichens vom Auge hingegen 280—320 mm beträgt.

Wie eine sehr einfache Ueberlegung ergiebt, ist auch die Thatsache, dass das Vorhandensein so beträchtlicher Zerstreuungsbilder wie sie unter den zuletzt besprochenen Verhältnissen auftreten, die Erscheinung keineswegs behinderte, jenem Erklärungsversuche nicht günstig, welcher sich auf die Zapfenmosaik beruft. Absolut unvereinbar mit dieser Erkläruug sind aber die Resultate der Messung (oder besser Schätzung) der Dimensionen des Wellenphänomenes.

Unter Zugrundelegung der Helmholtz'schen Annahme würde sich ergeben, dass die Länge der Wellen der doppelten Breite und die Höhe derselben (vom höchsten bis zum tiefsten Punkte) der halben Breite eines Zapfens gleich sein muss; es würde sich danach für die Länge einer Welle ein Gesichtswinkel von ungefähr 2, für ihre Höhe ein Gesichtswinkel von ungefähr 30″ ergeben.

Wie gross ist nun der Gesichtswinkel, unter welchem die Wellen wirklich erscheinen?

Um diese Frage zu beantworten, habe ich zwischen dem Auge und der Kymographiumtrommel, ziemlich nahe an letzterer, einen schwarzen Schirm angebracht, in welchem sich ein Fenster von etwa 5 cm Breite und 2 cm Höhe befand.

Das Fixationszeichen war in der Mitte des Fensters angebracht, und man sah durch letzteres auf die sich langsam vorbei bewegenden Gitterstäbe hin.

Es wurde nun durch möglichst sorgfältige Schätzung zu bestimmen gesucht, wieviel ganze Wellen auf der durch das Fenster gesehenen Länge eines Stabes sich befanden — eine Aufgabe, welche weder leicht noch angenehm und gewiss nicht sehr genau zu lösen war.

Sowie man sich anstrengt die Wellen auf dem Stabe zu zählen, entwickelt sich natürlich die Tendenz diesem mit dem Blicke zu folgen; und sobald man dieser Tendenz nachgiebt, verschwinden augenblicklich die Wellen. Nichtsdestoweniger war die Uebereinstimmung unter meinen Resultaten eine für den nächsten Zweck ausreichende und der Werth meiner Schätzungen wurde für mich noch wesentlich durch den Umstand erhöht, dass einige Schätzungen, welche H. Hofrath v. Brücke und H. Prof. Sigm. Exner für mich vorzunehmen die Güte hatten, sehr gut mit den meinigen übereinstimmten.

Um ein Beispiel zu geben, will ich anführen, dass ich an einem 630 mm von meinem Auge entfernten Gitter auf jedem der 18 mm langen Stäbe 6 ganze Wellen zählte. Hieraus ergiebt sich ein Gesichtswinkel von etwa $^1/_4{}^0$ für die Welle — und die Thatsache, dass eine Welle auf der Netzhaut ungefähr 15 Zapfen bedeckt. Dies aber scheint mir jede Möglichkeit, die Wellen aus der Zapfenmosaik zu erklären, auszuschliessen.

Zahlen, welche zu ganz ähnlichen Resultaten führten, erhielt ich nun bei allen in dieser Richtung angestellten Beobachtungen, wobei die Entfernung des Auges vom Gitter, die Länge des sichtbaren Theiles der Stäbe, ihre Breite, die Winkelgeschwindigkeit ihrer Bewegung und insofern auch die Methode der Beobachtung variirt wurde, als auch in einigen Fällen ruhende Gitter aus einiger Entfernung betrachtet wurden und die Anzahl der Wellen abgeschätzt wurde, welche (infolge der Augenbewegungen) auf jedem Stabe sichtbar wurden.

Die auf diese verschiedenen Arten erhaltenen Zahlen variirten um das oben angegebene Mittel in scheinbar unregelmässiger Weise und um Beträge, welche aus der Unsicherheit solcher Abschätzungen

vollkommen erklärt werden. Die geringsten Wellenlängen, welche bei absichtlich nach dieser Richtung übertriebener Schätzung und unter den ungünstigsten Umständen erhalten wurden, übertrafen immer noch um ein Vielfaches jene Länge, welche ein Postulat der Erklärung des Phänomenes aus der Zapfenmosaik ist.

Ich will hier bloss noch anmerken, dass bei Beobachtungen aus grösserer Entfernung die geschätzten Werthe der Wellenlängen im allgemeinen geringer ausfielen, als bei geringerer Distanz, ohne dass ich für diesen Umstand irgend einen Grund anzuführen vermöchte.

Die Höhe der Wellen versuchte ich entweder so zu schätzen, dass ich sie an dem entwickelten Phänomene mit der Breite der gewellten Streifen verglich; oder so, dass ich eine möglichst vollkommene Zeichnung von dem Phänomen anfertigte, dieselbe wiederholt korrigirend mit letzterm verglich und dann an der Zeichnung (unter gehöriger Reduktion auf die Entfernung) die gesuchte Grösse mass. Auf diese Weise erhielt ich abermals untereinander mit hinreichender Genauigkeit übereinstimmende Werthe, deren kleinster, 2,5 Zapfenbreiten für die Höhe der Welle, ebenfalls mit der Helmholtz'schen Erklärung, welche eine Höhe der Wellen von $^1/_2$ Zapfenbreite bedingen würde, in keinen Einklang zu bringen ist.

Ich habe nun verschiedene Versuche gemacht, das Phänomen auf eine befriedigende Weise zu erklären — doch ist mir dieses bis jetzt nicht gelungen.

Von den Formelementen der Netzhaut würden als die breitesten die Zellen des Pigmentepithels[1]) in betracht kommen, doch reichen selbst die Durchmesser dieser Gebilde zur Erklärung des Gesichtswinkels, unter welchem die Wellen erscheinen, nicht ganz aus. Doch könnte man sich, wenn nur sonst ein ausreichender Grund vorläge, den Pigmentzellen eine derartige Funktion beim Sehen zuzuschreiben, in Erwägung der grossen Unsicherheit in der Ermittelung dieses Gesichtswinkels immerhin selbst dazu entschliessen anzunehmen, man habe denselben durchgehends noch einmal so gross geschätzt, als er in Wirklichkeit ist — eine Annahme, die nothwendig wäre, um die Erscheinung unter der Voraussetzung zu erklären, dass die Zellen des Pigmentepithels, „Sehelemente" (Boll) sind.] Boll hat nämlich in jener mehrfach citirten Abhandlung Gründe für die Anschauung beizubringen versucht, dass nicht nur die Zapfen, sondern auch die

---

[1]) Vergl. Franz Boll, Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung. Arch. f. [Anat u.] Physiologie 1881.

Stäbchen und die Pigmentzellen lichtempfindliche Elemente (Sehelemente) sind.

[Uebrigens ist es, um das Pigmentepithel zur Erklärung des Phänomenes heranzuziehen, nicht gerade nothwendig, dasselbe für lichtperzipirend zu halten in der Art, wie wir die Zapfen für lichtperzipirend halten. Es würde zum Beispiel vollkommen ausreichen anzunehmen, dass sich in jeder Pigmentzelle, sobald dieselbe an einem kleinen Theile ihrer Oberfläche von Licht getroffen wird, ein chemischer Prozess abzuspielen beginnt, der sich mit sehr grosser Geschwindigkeit über die ganze Zelle verbreitet und der auf irgend eine Weise die vor dieser Pigmentzelle gelegenen Zapfen beeinflusst.[1]).

Allerdings würde eine derartige Einrichtung eigentlich einen Apparat zur Herabsetzung der Sehschärfe darstellen, aber es ist ja nicht ausgeschlossen, dass die Rückwirkung vom Epithel auf die Zapfen für gewöhnlich eine so schwache ist, dass sie nur unter besonders günstigen Verhältnissen bemerkbar wird — wie hier be Bewegung des Bildes auf der Netzhaut, wobei ein steter periodischer Wechsel zwischen Erregung und Ruhe für jede Zelle stattfindet.

Ohne auf die Verfolgung dieses Gedankens weiter einzugehen, und indem ich einige andere entschieden unglückliche Erklärungsversuche ganz übergehe, will ich nur noch einer Idee Erwähnung thun, von der ich mir durch längere Zeit schmeichelte, sie würde zu einem Verständniss der Erscheinung führen.

Man denke sich nahe vor einem Schirme, auf welchem ein optisches Bild aufgefangen wird, parallel mit ihm ein Netz mit rundlichen Maschen aufgestellt. Die Fäden des Netzes bestehen aus dicken durchsichtigen Zylindern, deren Brechungsindex sich nur wenig von dem des umgebenden Mediums unterscheidet. Das Bild eines Stabgitters, welches auf den Schirm fällt, wird durch das vorgestellte Netz verzerrt werden, und zwar werden die Stäbe durch die schief zu ihrer Richtung gestellten Zilinder mehrfach gebogen und geknickt erscheinen. Ein solches Netz ist nun vor der lichtperzipirenden Schichte der Netzhaut in Form ihres Blutgefässsystemes aufgespannt, und man kann allerdings an eine solche Beeinflussung des Bildes seitens der Gefässe durch Brechung, Biegung oder Reflexion denken.

[1]) Vergl. die Darstellung W. Kühne's von der Thätigkeit des Pigmentepithels beim Sehen in dessen „Chemische Vorgänge in der Netzhaut". Hermann's Handb. der Physiologie III. Bd. 1. Theil.

Die Grösse der Maschen des Kapillarnetzes in meinen Augen würde ganz gut mit dem Gesichtswinkel des Wellenphänomenes stimmen, aber es dürften die Stäbe, wenn diese Erklärung das Richtige getroffen haben sollte, in unmittelbarer Umgebung des Fixationspunktes nicht gewellt, sondern sie müssten gerade erscheinen, da bekanntlich die Stelle des deutlichsten Sehens auf der Netzhaut gefässlos ist. Vielleicht ist aber diese Stelle so klein, dass dieses kurze gerade Stückchen der Beobachtung entgeht, besonders bei den schwierigen Umständen, unter denen diese vorgenommen wird. Ich habe also die Grösse der gefässlosen Stelle in der Netzhaut meines rechten Auges bestimmt, und zwar auf folgende Weise.

Ich blickte in das helle leere Gesichtsfeld eines Mikroskopes unter beständiger Bewegung meines Kopfes. Das auf diese Weise hervorgerufene äusserst scharfe Bild[1]) der Blutgefässe in der Netzhaut wurde mittels eines auf das Okular aufgesetzten Zeichenprismas auf eine in gemessener Entfernung aufgetellte Papierfläche projizirt und die gefässlose Stelle mit verschieden grossen, auf das Papier gezeichneten Kreisen dadurch verglichen, dass man sie der Reihe nach mit den Kreisen zur Deckung zu bringen suchte. Aus der Grösse des passenden Kreises und seiner Entfernung wurde dann der Gesichtswinkel, unter dem die gefässlose Stelle gesehen wird — und folglich auch sieht — bestimmt, und zwar bei mir etwa gleich 85′. Auf der gefässlosen Stelle haben folglich 4—6 ganze Wellen des Phänomenes Platz, und ich glaube ganz bestimmt sagen zu dürfen, dass es mir nicht entgangen wäre, wenn das Phänomen in solcher Ausdehnung gerade an der Stelle des deutlichsten Sehens gefehlt hätte. Demnach habe ich auch diese Erklärung wieder fallen gelassen.]

So bin ich denn in der unerquicklichen Lage, die Richtigkeit der Erklärung des Helmholtz'schen Wellenphänomenes aus der Zapfenmosaik bestreiten zu müssen, ohne an die Stelle dieser Erklärung eine andere setzen zu können.

---

[1]) Vergl. Helmholtz, physiologische Optik, S. 161. in der 2. Auflage S. 197. Fleischl, physiologisch-optische Notizen, erste Mittheilung II. diese Berichte LXXXII. Bd. III. Abt.

C.

Physiologie der Bewegung.

Untersuchungen über die Gesetze der Nervenerregung.

I. Abhandlung.

Ueber die Lehre vom Anschwellen der Reize im Nerven.

(Aus dem LXXII. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissenschaften. III. Abth. December-Heft. Jahrgang 1875.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 9. December 1875.)

(Mit 4 Holzschnitten.)

Wenn man an einem Präparate, welches aus dem *Nervus ischiadicus* und dem mit ihm zusammenhängenden *Musculus gastroknemius* eines Frosches besteht, einen electrischen Reiz von geringer und alle Male gleicher Stärke erst auf eine Stelle des Nerven wirken lässt, welche nahe seinem Eintritte in den Muskel liegt, und dann auf eine Stelle des Nerven, welche nahe seinem freien Ende liegt, so kann man bemerken, dass der Reiz, welcher eine längere Strecke des Nerven durchlaufen musste, um zum Muskel zu gelangen, eine stärkere Zuckung auslöst, als derselbe Reiz, wenn er nur ein kürzeres Stück Nerv durchlaufen hat. Diese Thatsache ist von Budge und dann von Pflüger[1]) aufgefunden und von letzterem zu ihrer Erklärung eine Hypothese aufgestellt worden, welche man allgemein als die „Lehre vom lawinenartigen Anschwellen des Reizes im Nerven" kennt.

Diese Lehre ist von Heidenhain angegriffen worden, und es hat sich sofort zwischen diesem und Pflüger eine Debatte entsponnen, an welcher sich auch Rosenthal vorübergehend betheiligte.[2]) Ich werde später noch vielfach Gelegenheit haben, auf die Erfahrungen dieser Forscher zurückzukommen.

---

[1]) Budge, Froriep's Tagesberichte 1852, p. 329, ferner ebenda, Aprilheft 1852. Pflüger, Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus, Berlin 1859, p. 140—158.

[2]) Berliner Allgemeine medizinische Centralzeitung 1859, Nr. 10, 141, 16 (pag. 121 u. pag. 126), 19.

Bei allen Erörterungen, welche diese Pflüger'sche Lehre hervorgerufen hat, wurde — mit vollem Rechte — das Hauptgewicht auf den Einfluss gelegt, den die grössere oder geringere Entfernung von dem bei der Präparation am Nerven angebrachten Querschnitt auf die Erregbarkeit eines bestimmten Abschnittes dieses Nerven nimmt. Nun ist aber dieser Einfluss selbst trotz der vielfachen Untersuchungen, die, seit seiner Entdeckung durch Ritter, hierüber angestellt wurden, doch nicht so genau eruirt, dass man ihn einfach als bekannte Function ansehen und verwenden könnte bei der Beurtheilung von Versuchen, in deren Ergebnisse er sich mit einmischt. Selbst Rosenthal's sorgfältige Untersuchungen über diesen Gegenstand haben — wie dies ja in der Natur der Sache liegt — nur zu einer allgemeinen Vorstellung über den Verlauf der fraglichen Erregbarkeitsveränderungen geführt.

Ich habe es desshalb unternommen, neue Versuche über das „lawinenartige Anschwellen" der Reize im Nerven anzustellen, und mich bei diesen Versuchen ganz von dem unberechenbaren Einflusse der Durchschneidung des Nerven zu emancipiren, indem ich den Nerven an seinem oberen Ende im Zusammenhange mit dem Thiere liess. Diese Idee ist durchaus nicht neu. Es haben schon einige Forscher[1]) gelegentlich auch am unzerschnittenen Nerven experimentirt; doch finde ich merkwürdiger Weise nirgends ein besonderes Gewicht auf diese so fruchtbare Methode gelegt, finde auch nirgends eine genaue Beschreibung der Versuchsanordnung. Und doch ist es an sich nicht sehr wahrscheinlich, dass Jemand, der die Methode der Reizung des unzerschnittenen Nerven von den ihr ursprünglich anhaftenden Fehlern befreit hatte, und nun ihre grossen Vortheile gewahr wurde, und ihre Bedeutung für die Nervenphysiologie erkannte, dass ein Solcher es nicht der Mühe werth gehalten haben sollte, seine Methode zu beschreiben, und auf die wichtigen, mit ihrer Hilfe zu erledigenden Fragen anzuwenden. Ich muss demnach meinen, dass solche Reizversuche an unzerschnittenen Nerven immer nur beiläufig und ohne besondere Vorsichtsmassregeln angestellt wurden, und will desshalb die Methode, deren ich mich bediente, ausführlich beschreiben.

Will man Muskelzuckungen als Maasse für den Effect von Reizen verwerthen, welche man auf einen aus sensiblen und motorischen Nerven gemischten Nervenstamm hat einwirken lassen, der seinerseits wieder in ungestörtem physiologischem Zusammenhange

---

[1]) Z. B. Schiff, Heidenhain.

mit dem Centralnervensysteme steht: so muss man sich vor Allem davor zu schützen wissen, dass die durch Reizung der sensiblen Fasern auf reflectorischem Wege erfolgenden Zusammenziehungen des beobachteten Muskels nicht mit jenen interferiren, welche direct durch Reizung der ihn versorgenden motorischen Fasern ausgelöst werden.

Da man nun ausser der Vergleichung der Latenzzeiten von der Reizung bis zur Zuckung kein Mittel besitzt, um die „directen" von den reflectorischen Zuckungen zu unterscheiden, so muss man von vorne herein darauf bedacht sein, die letzteren ganz zu eliminiren. Hiezu bieten sich im Allgemeinen zwei Methoden dar. Man kann entweder durch die Anwendung von Giften die Thätigkeit der sensiblen Centralorgane und der Reflexcentra unterdrücken, oder man kann die sensible Leitung unterbrechen durch die Durchschneidung der in Betracht kommenden hinteren Nervenwurzeln. Diese zweite Methode ist unzweifelhaft sicher, die erste ist aber die weitaus bequemere. Anfangs benutzte ich abwechselnd bald die eine, bald die andere — nach kurzer Zeit aber hatte ich im Chloralhydrat ein Mittel kennen gelernt, welches die Einmischung reflectorischer Zuckungen mit derselben Exactheit ausschliesst, wie die Durchschneidung der sensiblen Wurzeln dies leistet, und hatte mich durch zahlreiche Parallelversuche von der vollkommenen Gleichheit der Wirkungen dieser beiden Eingriffe und somit von der Zuverlässigkeit der Methode der Chloralhydrat-Vergiftung überzeugt, welche ich denn auch fortan ausschliesslich benützte. Demnach richtete ich die Thiere für meine Versuche auf folgende Weise her. Zunächst spritze ich dem Frosch eine nach der Jahreszeit[1]) und der Grösse des Thieres wechselnde Menge einer Chloralhydratlösung unter die Rückenhaut und lasse ihn dann unter einer Glasglocke seine Narcose erwarten. Zu den Reflexen, die am ersten erlöschen, gehören die durch Reizung der *Cornea* auslösbaren Bewegungen der *Membrana nictitans*; erst eine geraume Zeit, nachdem diese aufgehört haben, kann man den Frosch an der einen Hinterpfote ergreifen, und kopfabwärts in die Luft hängen lassen, ohne dass er durch Flexion des betreffenden Beines reagirt. Erst wenn diese Probe gelingt, darf man die Reflexe im Allgemeinen für unterdrückt ansehen. Nun

[1]) Im Winter scheint nicht nur die Erregbarkeit, sondern auch die Deprimirbarkeit der Frösche eine andere zu sein, als im Sommer. Winterfrösche bedürfen viel grösserer, beinahe tödtlicher Dosen von Chloralhydrat um reflexlos zu werden, und hierin liegt abermals eine Veranlassung, derartige Versuche vorzugsweise an Sommerfröschen anzustellen.

wird die Haut von einem Hinterbein abpräparirt (nicht herabgerissen) und dann der *Nervus ischiadicus* vom Austritt aus der Beckenhöhle bis unter das Kniegelenk frei präparirt und zwar mit äusserster Schonung. Die nun folgenden Operationen sind möglichst rasch und ohne die mindeste Zerrung oder Quetschung der Nerven auszuführen. Sie bestehen in der Entfernung der ganzen Musculatur des Oberschenkels, in der Durchschneidung des Femur etwa in der Hälfte seiner Länge und in der Enucleation des oberen Stückes aus der Pfanne des Beckens. Ferner in der Einführung des einen spitzen Endes eines *S*-förmigen Häkchens in die Achillessehne, in der Ablösung des *Musculus gastroknemius* von der Tibia und der Durchtrennung dieses Knochens dicht unter dem Kniegelenk. Der Frosch hat nun von seinem einen Bein nichts mehr übrig, als den *Nervus ischiadicus* sammt dem *Musculus gastroknemius,* das Kniegelenk mit einem kurzen Stückchen Tibia und einem langen Stück Femur. Dieses letztere wird in die Klemme des Pflügerschen Myographiums eingespannt, und das Häkchen im Muskel mit dem Hebelwerk verbunden. Der Frosch wird auf dem Tisch des Schreibapparates so gelagert, dass der Nerv beim Austritt aus der Beckenhöhle nicht geknickt ist, und in horizontaler Richtung, nur schwach nach abwärts gekrümmt, zum Muskel hinzieht.

Den unpolarisirbaren Electroden, durch welche die reizenden Ströme zugeleitet werden sollten, habe ich folgende Form gegeben, die sich als zweckmässig bewährt hat. Die obere Fläche eines cubischen Bleiklotzes von etwa 2.5 Ctm. Seitenlänge setzt sich in eine 3 Ctm. lange, 1 Ctm. breite und 1 Mm. dicke Zunge aus Blei fort. Dicht an der Spitze ist auf die obere Fläche dieser Zunge eine 1 Ctm. hohe, 4 Ctm. lange, 4 Mm. dicke Korkleiste aufgenietet, in welcher passende horizontale Durchbohrungen zur Aufnahme von Glasröhrchen angebracht sind. Meine Röhrchen hatten etwa 2 Mm. Lumen und waren circa 4 Cm. lang. An ihrem vom Bleiklotz abgewendeten Ende waren sie je in eine kurze feine abgekappte Spitze ausgezogen, über welche dann die bekannten Du Bois-Reymond'schen Kochsalz-Thonstiefel übergeschoben wurden. Die Röhrchen wurden wie gewöhnlich mit einer concentrirten Lösung von schwefelsaurem Zink angefüllt, und in sie amalgamirte Zinkdrähte eingesenkt, die an die zuleitenden Kupferdrähte angelöthet waren. Die Löthstellen waren mit einem Firnissüberzuge versehen, der sich auf die Zinkdrähte (bis in die Flüssigkeit herab) fortsetzte, und nur ihr unteres, etwa 1.5 Ctm. langes Ende freiliess. Die Zinkdrähte wurden in ihrer Lage im Röhrchen erhalten, durch die Federkraft der spiralförmig

aufgerollten zuleitenden Kupferdrähte, welche sie so weit wie möglich in die Röhrchen hinabdrückten und ausserdem noch durch Kugeln von Klebwachs, welche sie bei ihrem Eintritt in die Röhren an deren oberen Querschnitt befestigten.

Bei den Versuchen der ersten Reihe benützte ich eine solche Zuleitungs-Vorrichtung, welche zwei Paar Electroden trug. Die Entfernung der beiden Electroden eines jeden Paares von einander betrug (an den Glasspitzen gemessen) 5 Mm. Die beiden inneren Electroden waren von einander um 15 Mm. entfernt, also die beiden äusseren um 25 Mm., eine Distanz, die gestattete, die Electroden an dem zwischen Hüftloch und Kniegelenk frei präparirten *N. ischiadicus* eines Frosches von selbst nur mittlerer Grösse bequem anzubringen.

Um den reizenden Strom bald durch die einen, bald durch die anderen Electroden dem Nerven zuzuleiten, brauchte ich bloss die Lage des kupfernen Doppelbügels pp' qq' (Fig. 1) so zu verändern, dass er bald die eben genannte, bald die in der Figur durch punktirte Linien angedeutete Stellung pp'' qq'' einnahm. p, q, p', q', p'', q'' sind 6 in einem Brette befestigte Glasnäpfchen, in welche je ein Platindraht eingeschmolzen ist, und welche mit Quecksilber gefüllt sind. Der Doppelbügel besteht aus zwei dicken Kupferdrähten, von denen jeder durch ein Glasrohr gesteckt, darin eingekittet und nachher an beiden Enden nach derselben Seite hin rechtwinklig umgebogen ist. Die abgebogenen Enden sind amalgamirt, beide Glasröhren durch eine feste Brücke, die zugleich als Handhabe dient, miteinander verbunden.[1])

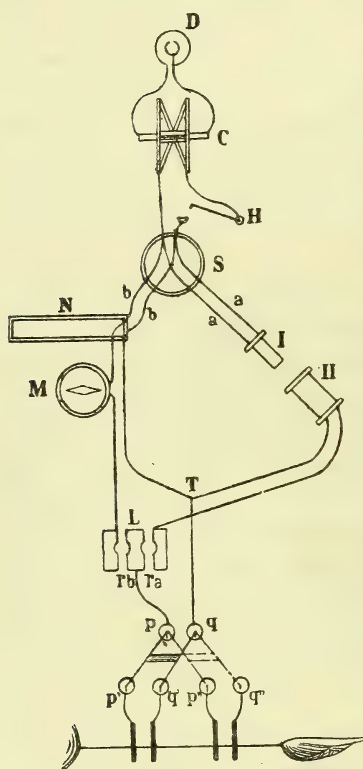
Ich habe zunächst Inductions-Ströme als Reize verwendet. Es wurde also der Strom eines Daniell'schen Elementes (Fig. 1 D) mittelst eines Fallapparates *(H)* in der primären Spirale des Du Bois-Reymond'schen Schlittens (*I*) bald geschlossen, bald geöffnet. Dieser Fallapparat unterscheidet sich vom „Pflüger'schen Hammer"

---

[1]) Dass ich mich nicht, wie diess sonst bei ähnlichen Gelegenheiten zu geschehen pflegt, des Pohl'schen Stromwenders mit herausgenommenem Kreuz bedient habe, hatte seinen Grund darin, dass ich mich von vorne herein gegen die Möglichkeit einer Nebenschliessung durch das Holz dieses Instrumentes schützen wollte. Eine solche Nebenschliessung musste vor Allem an dieser Stelle meines Apparates vermieden werden, denn sie hätte sich, bei der von mir getroffenen Anordnung des Versuches, der Controlle entzogen; und hätte doch — bei nicht vollkommener Symmetrie aller Dimensionen und Umstände am Commutator — wesentliche Unterschiede in der Stärke der beiden abgeleiteten Ströme bedingen müssen.

in keinem wesentlichen Punkte. Ich habe mir bloss die galvanische Batterie, die zur Handhabung des Pflügerschen Instrumentes benöthigt wird, erspart, indem ich statt der magnetischen eine einfache mechanische Auslösung des gehobenen Hammers anbrachte. Der secundäre Strom ging dann von *II* über *T* nach *q* und durch das Präparat nach *p*. Von dort gelangte er an die mittlere der 3 messingenen Schienen *L*, zwischen denen bei dieser Verwendung des Apparates das Loch r_b offen, das Loch r_a hingegen gestöpselt war, und von hier ging er über r_a zur Inductionsrolle zurück. Um mich nun in jedem Momente davon überzeugen zu können, dass der reizende Strom ganz dieselben Bedingungen der Leitung antraf, ob er nun das in die Strecke $p' q'$ oder ob er das in die Strecke $p'' q''$ eingeschaltete Stück des Nerven durchfloss, habe ich eine zweite Leitung zwischen dem Daniell'schen Element und dem Nerven von der ersten abgezweigt, in welcher sich ein Du Bois-Reymond'sches Rheochord *(N)* und ein für Nerven-Ströme hergerichteter Multiplicator *(M)* mit etwa 20.000 Windungen befand. Ich brauchte bloss den Stromwender *(S)* von *a, a* nach *b, b* zu drehen, und den Stöpsel aus dem Loche r_a in das Loch r_b hinüberzustecken um einen Zweigstrom des Daniell'schen Elementes zur Controle meiner Versuchsanordnung verfügbar zu haben.

Fig. 1.

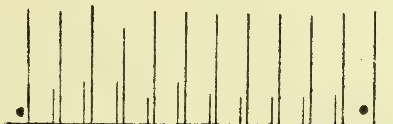


Da alle diese Massregeln den von anderen Forschern schon häufig benützten, wesentlich von Du Bois-Reymond und Pflüger herrührenden Vorschriften entsprechen, so brauche ich mich bei ihrer weiteren Rechtfertigung nicht aufzuhalten. Die Probe mit dem Multiplicator auf gleiche Leitung in den feuchten Theilen stellte ich immer nur zum Schluss eines Versuches, oder doch mindestens nur am Beginn einer längeren Pause, die einem Präparat gegönnt wurde, an, um vor Täuschungen durch die nach dem constanten Strome

zurückgebliebene „Modification“ des Nerven geschützt zu sein. Die Myogramme, die wie gewöhnlich auf Glas in Russ geschrieben waren, fixirte ich dann mit Mastixlösung und copirte sie nach einer bereits ziemlich verbreiteten Methode photographisch. Die dieser Abhandlung beigegebenen Holzschnitte von Myogrammen sind von jenen Photographien copirt.

Fig. 2.



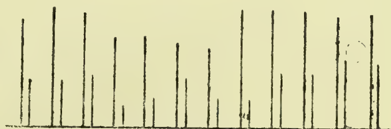


Die erste Ordinate, im Sinne des Pfeiles gezählt, ist das Bild der Zuckung, welche von den oberen Electroden hier ausgelöst wurde. Der darauffolgende Punkt über der Abscisse bedeutet, dass bei der nun folgenden Reizung an den unteren Electroden mit demselben Strome die Zuckung ganz ausblieb. Die nächste Ordinate entspricht wieder einer Reizung oben, die darauffolgende einer Reizung unten und sofort abwechselnd.

Gleich der erste Versuch, der an einem unvergifteten Frosche mit durchschnittenen sensiblen Wurzeln angestellt wurde, bestätigte Pflüger's Erfahrungen. Ebenso der zweite, an einem mit Chloralhydrat vergifteten Frosche angestellte, dessen Myogramm ich hier abbilde. (Fig. 2). Ebenso der dritte und der vierte, bei welchem ich statt der bei den drei ersten verwendeten Schliessungsinductionsströme, Oeffnungsinductionsströme benutzte. Der fünfte Versuch aber gab ein den ersten entgegengesetztes Resultat. Die von der höheren Stelle am Nerven ausgelösten Zuckungen waren sehr deutlich niedriger, als die von unten her erregten — und blieben so während des ganzen Versuches. (Fig. 3). Ich war hievon natürlich sehr überrascht, denn alle Beobachtungen, welche von Anderen über diesen Gegenstand gemacht worden waren, sowie die wenigen eigenen, über die ich damals verfügte, hatten mit Einstimmigkeit die Richtigkeit der Thatsache ergeben, dass ein Nerv, höher oben gereizt, stärkere Zuckung auslöste. Streitig war nur die Deutung dieser Thatsache. Nun stand ich auf einmal vor einem Versuche, der, scheinbar in allen Bedingungen unverändert, das Gegentheil von dem ergab. Und dieser Versuch erwies sich bei der peinlichsten Prüfung als ganz vorwurfsfrei an-

Fig. 3.





Die erste Ordinate entspricht einer Reizung von den oberen Electroden aus, ebenso die dritte, fünfte, u. s. w. Die zweite, vierte u. s. w. entsprechen Reizungen mit demselben Inductionsschlag von den unteren Electroden aus.

gestellt. Von diesem Tage an habe ich nun bald Resultate erhalten, die meinen fünften Versuch bestätigten, bald solche, welche mit den Pflüger'schen und meinen eigenen ersten Versuchen übereinstimmten. Dieser Wechsel war aber in seiner Willkürlichkeit ganz unerträglich. Es hat in der That etwas sehr Deprimirendes, wenn man eine geraume Zeit bloss mit der Wiederholung eines einzigen, in seinen Bedingungen schliesslich doch nicht gar so complicirten Versuches hingebracht hat und noch immer nicht zu sagen weiss, ob der Versuch, den man nun nochmals anstellt, von zwei einander entgegengesetzten Resultaten das eine oder das andere ergeben wird. Da alle bekannte Theorie erschöpft war, fing ich an, auf's Gerathewohl die Versuchsbedingungen abzuändern, und schaltete unter Anderem den Commutator *(C)* (Fig. 1) gleich nach dem Element in die Leitung ein, und änderte während des Versuches ab und zu die Richtung der reizenden Ströme im Nerven. Und hiemit war die Sache sofort erledigt.[1]) Bei der einen Stromrichtung bekam ich eine Bestätigung von Pflügers Resultaten, bei der entgegengesetzten das entgegengesetzte, und es stand von nun an in meinem Belieben, Jedermann durch einen Versuch das „lawinenartige Anschwellen“ oder das gletscherartige Abschmelzen der Reize im Nerven zu beweisen. Hatte der reizende Inductionsstrom eine im Nerven absteigende Richtung, so bewirkte er vom oberen Electrodenpaar aus eine stärkere Zuckung als vom unteren Electrodenpaar aus; hatte derselbe Strom eine im Nerven aufsteigende Richtung, so bewirkte er vom unteren Electrodenpaar aus eine stärkere Zuckung als vom oberen Electrodenpaar aus.

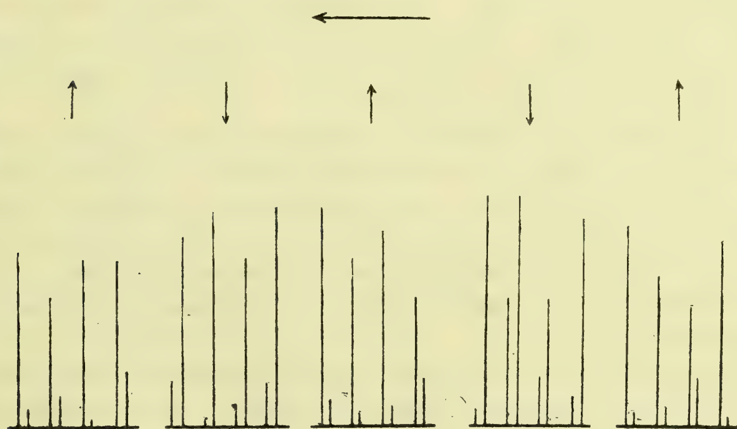
Leicht findet man diejenige Stromstärke heraus, bei welcher der Unterschied der stärkeren von der schwächeren Zuckung die ganze Grösse der maximalen Zuckung beträgt, bei welcher also der aufsteigende Strom von den oberen Electroden aus, und der absteigende von den unteren aus gar keine Zuckung mehr bewirken; während derselbe aufsteigende Strom von den unteren Electroden aus und derselbe absteigende von den oberen aus den Muskel zur grössten Verkürzung reizen, die überhaupt ein einmaliger electrischer Reiz an ihm hervorzubringen vermag.

Um den Versuchen, welche diess zeigen, eine möglichst anschauliche Form zu geben, richte ich sie folgendermassen ein. Nachdem die richtige Stromstärke gefunden ist, wird eine frische berusste

[1]) Offenbar hatten auch bei meinen früheren Versuchen gelegentlich wenn die Apparate wieder frisch zusammengestellt wurden, solche (unbeabsichtigte und unberücksichtigte) Wechsel in der Stromrichtung stattgefunden.

Glastafel eingeschoben, und diese in der Weise beschrieben, dass die erste Ordinate einer Reizung von den oberen Electroden aus, die zweite einer von unten, die dritte wieder einer von oben entspricht, und sofort alle Ordinaten mit ungeraden Ordnungsnummern: Reizungen von oben, alle mit geraden Ordnungsnummern: Reizungen von unten. So schreibt man eine Gruppe von z. B. acht Zuckungen. Dann unterbricht man die Abscisse, indem man die Tafel unter der zurückgezogenen Schreibspitze eine kleine Strecke weit fortschiebt, kehrt die Richtung des Stromes in der primären Spirale um, und schreibt nun eine der ersten ganz analog eingerichtete Gruppe, dann unterbricht man wieder die Abscisse, wendet den Strom u. s. w. — Eine Suite von fünf solchen Gruppen zeigt Fig. 4. Je zwei benachbarte Gruppen stellen dann gleichsam Spiegelbilder von einander

Fig. 4.



Der horizontale Pfeil bedeutet wieder die Richtung, in welcher das Myogramm zu lesen ist. Der verticale Pfeil über jeder Gruppe zeigt die Richtung des reizenden Stromes im Nerven, während die Gruppe geschrieben wurde. Die 1., 3., 5., 7. Ordinate jeder Gruppe entsprechen Reizungen von den oberen Electroden aus, die 2., 4., 6., 8. Ordinate entsprechen Reizungen mit demselben Strom von den unteren Electroden aus.

dar. Mit der Umkehrung der Stromesrichtung wird die überwiegende Reizbarkeit von dem Ort des einen Electrodenpaares an den des anderen übertragen.

Die Regelmässigkeit, mit welcher die Erscheinungen in der beschriebenen Weise auftreten, ist höchst bemerkenswerth. Mir ist bis jetzt noch kein Ausnahmsfall vorgekommen.

Mitunter, wenn der Nerv bei der Präparation etwas gezerrt oder gedrückt wurde, geht dem Eintreten unseres Gesetzes eine kurze

Periode der Unordnung voran, die aber jedesmal, wenn der Nerv nicht sichtlich arg verletzt ist, bald weicht, und dem normalen Verhalten Platz macht. Aus anderen Versuchen, welche in späteren Abschnitten dieser Schrift ihren eigentlichen Platz finden werden, will ich hier anticipiren, dass man zu ganz denselben Resultaten kommt, wenn man mit constanten Strömen statt mit inducirten reizt, und dass man ebenfalls zu denselben Resultaten gelangt, wenn man statt vier nur zwei Electroden anwendet, und diese am Nerven verschiebt. Ebenso will ich hier nur erwähnen, dass man abermals zu denselben Resultaten kommt, wenn man mitten im Versuch den Nerven zwischen der obersten Electrode und dem Rückenmark zerschneidet; nur muss für diesen Fall meistens eine andere passende Reizstärke nach der Durchschneidung aufgesucht werden, indem durch diese die Erregbarkeit des Nerven im Ganzen alterirt wird.

Im Allgemeinen setzt jedoch die Auffindung unseres Gesetzes am zerschnittenen Nerven die Anwendung gewisser Vorsichtsmassregeln voraus, deren Nothwendigkeit sich aus der Berücksichtigung von Gesetzen ergiebt, welche in späteren Abschnitten dieser Untersuchung dargestellt werden sollen.

Aus dem bisher Gesagten geht hervor, dass die Lehre von der Steigerung des Reizes während seines Verlaufes durch den Nerven, ebenso wie die Lehre von der an sich grösseren Reizbarkeit centraler gelegener Nervenstellen gegenüber mehr peripher gelegenen, ungiltig sind für den lebenden, ganzen Nerven, für das, was ein Physiologe „Nerv“ nennen sollte, im Gegensatz zu „Nervenrudiment“.

Unter Reiz ist hier immer nur ein electrischer Reiz gemeint. Freilich sind weitaus die meisten Versuche in dieser Richtung mit electrischen Reizen angestellt worden, aber Pflüger hat sich auch chemischer Reize bedient, und mit ihrer Hilfe sein Gesetz bestätigen können. Ich musste demnach darauf bedacht sein, chemische Reize auf „ganze“ Nerven anzuwenden. Den electrischen Reizen gegenüber hatte der Nerv eine Art von Polarität gezeigt, welche in einem bestimmten Zusammenhange stand mit der Polarität des Reizmittels. Eine solche Polarität des Reizes (die der Umkehr der Stromesrichtung entspräche) ist nun an einem Kochsalztropfen keineswegs herzustellen, und deshalb darf man gerade in dieser Frage den Versuchen mit chemischer Reizung eine ganz besondere Bedeutung beimessen, wie diess auch von Pflüger geschieht.

Ich liess mir nun zwei Bleiklötzchen machen, ganz in der Art, wie ich sie als Electrodenträger verwende, ebenfalls jedes mit einer

langen dünnen Zunge als Fortsetzung der oberen Fläche. Vorne war auf die obere Fläche jeder Zunge ein ganz kleines oben offenes Kästchen aus Hartgummi aufgekittet. Das Kästchen ist oblong, der Zunge parallel gestellt mit seinen längeren Wänden. Diese sind im Lichten 6 Mm. lang und 4 Mm. hoch. Die kurzen Wände sind 3 Mm. lang. Die Wandstärke betrug kaum 1 Mm. An zwei einander gegenüberliegenden Stellen sind die langen Wände mit je einem 2 Mm. tiefen, 1 Mm. breiten, unten ausgerundeten Einschnitt versehen, dessen Wände mit Unschlitt überzogen sind. Legt man einen Schenkelnerven vom Frosch mit Benützung dieser beiden Einschnitte quer durch das Kästchen, und füllt es nachher mit einer wässerigen Flüssigkeit, so benetzt diese den Nerven nur an seinem im Kästchen liegenden Antheil und kriecht nicht an ihm heraus, wenn man nicht zu viel von der Flüssigkeit eingefüllt hat.

Den Frosch richte ich folgendermassen her. Sobald er in Chloralschlaf gefallen ist, präparire ich beide Oberschenkel bis auf die Nerven ganz weg, und zwar so, dass ich an dem einen anfange, nach ein paar Schnitten den anderen in Angriff nehme, bald zum ersten zurückkehre, und so abwechselnd fort, bis nur mehr die Nerven übrig sind. (Die Haut unterhalb des Kniegelenkes wird nicht abgezogen). Auf die Art sind die beiden Nerven fast gleichzeitig frei präparirt, und nun wird jeder von ihnen durch eines der oben geschilderten Kästchen gelegt, ohne Spannung oder Druck; der eine bei seinem Austritt aus dem Becken, der andere tief unten. Nun werden aus einer feinen Pipette die beiden Kästchen mit concentrirter Kochsalzlösung gefüllt, und es wird die feuchte Kammer, auf deren Boden der so hergerichtete Frosch liegt, geschlossen. Ich habe die Zeit des Beginnes der Benetzung mit Kochsalz, die des Auftretens der ersten Zuckungen, und die des Eintrittes des *Tetanus* für beide Beine notirt, und bin bei allen meinen Versuchen zu dem Resultate gelangt, dass kein bedeutender, jedenfalls aber kein regelmässiger Unterschied zwischen diesen Zeiten für die beiden Beine existirt. Meistens lag keine halbe Minute zwischen dem Ausbruch des *Tetanus* auf der einen und auf der anderen Seite, nur in einem einzigen Falle betrug der Unterschied $2^1/_2$ Minuten und dieser Unterschied war nicht im Sinne einer grösseren Reizbarkeit der höher gelegenen Stelle, sondern im entgegengesetzten.

Nach den ersten paar Versuchen ward ich auf einen Einwand aufmerksam, der sich auf die raschere Diffusion an der unteren Stelle stützen könnte. Eine solche raschere Diffusion würde die Folge davon sein können, dass der Nerv im untersten Theile seines

Verlaufes im Oberschenkel sich spaltet. Die beiden Aeste bieten aber eine grössere Oberfläche, vielleicht auch eine dünnere Scheide als der ungetheilte Stamm. Deshalb habe ich in allen folgenden Versuchen die untere Reizstelle immer gerade über die Theilungsstelle des Nerven gelegt. Ein Theil dieses Einwandes bleibt auch so noch bestehen, wegen der Aeste für die Oberschenkelmuskeln, welche der Nerv bald nach dem Austritt aus dem Becken abgiebt, aber ich glaube nicht, dass irgend Jemand den hieraus folgenden Unterschied in der Diffusionsgeschwindigkeit und dem ganzen Effect so hoch veranschlagen wird, dass hiedurch die untere Reizstelle der oberen um so viel voraneilt, dass der von Pflüger behauptete Unterschied aufgehoben wird. Uebrigens sind ja diese beiläufig 7 Minuten, um welche Pflüger's Präparate im Durchschnitt früher tetanisch wurden, wenn er sie statt unten: oben mit Kochsalz ätzte, unter ganz denselben physikalischen Bedingungen gewonnen worden, welche auch bei meinen Versuchen walteten, also trotz jener rascheren Diffusion an der unteren Stelle. Dass ich keinen Unterschied im Durchschnitt, und einen sehr kleinen im einzelnen Fall bekam, muss also wohl daher rühren, dass von vornherein kein Unterschied in der Reizbarkeit der beiden Nervenstücke vorhanden war, vielmehr ein solcher erst durch die bisher übliche Versuchsmethode geschaffen wurde.

Ich halte mich nach den in diesem Abschnitt mitgetheilten Erfahrungen für berechtigt, folgende Sätze auszusprechen:

Für chemische Reize sind die Nerven an allen Stellen ihres Verlaufes gleich empfindlich.

Für electrische Reize sind die Nerven an hochgelegenen Stellen empfindlicher als an tiefgelegenen, wenn die reizenden Ströme in ihnen eine absteigende Richtung haben; sie sind aber an tiefgelegenen Stellen empfindlicher, als an hochgelegenen, wenn die Ströme in ihnen eine aufsteigende Richtung haben.

Die Lehre vom Anschwellen der Reize im Nerven ist unhaltbar.

Wie bereits mehrfach von mir angedeutet wurde, stellt diese Abhandlung nur den ersten Theil einer grösseren Untersuchung dar. Die folgenden Theile werden sich mit einer genaueren Analyse der im ersten Theile aufgedeckten Eigenthümlichkeit der Nerven, mit der Untersuchung der Einwirkung constanter Ströme, mit der Aufstellung eines neuen Zuckungsgesetzes, mit einer Revision der Lehre vom Electrotonus und schliesslich mit der Erforschung jenes Zu-

sammenhanges beschäftigen, welcher zwischen der Steilheit des An- oder Abschwellens eines electrischen Stromes und seiner Einwirkung auf lebende Nerven besteht. Bei der Erledigung dieses letzten Punktes wird ein von mir construirter Apparat in Anwendung kommen, welcher die Herstellung merklich linearer Stromesschwankungen ermöglicht.

Nun ist zwar ein grosser Theil der Versuche schon gemacht, welche diesen weiteren Mittheilungen zu Grunde liegen müssen, doch bin ich in ihrer Fortsetzung durch den Eintritt der kalten Jahreszeit einigermassen aufgehalten; denn wenn man sich in irgend einer nervenphysiologischen Frage ausschliesslich auf Versuche stützen wollte, welche an Winterfröschen gemacht sind, so wäre man billigen Einwänden ausgesetzt. Ich bin also genöthigt, die Ergebnisse meiner Methode bezüglich der angedeuteten Fragen in später zu publicirenden Abschnitten dieser Untersuchung mitzutheilen.

II. Abhandlung.

Über die Wirkung secundärer elektrischer Ströme auf Nerven.

(Aus dem LXXIV. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissenschaften III. Abth. November-Heft Jahrgang 1876.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 9. November 1876.)

(Mit 3 Holzschnitten und Tafel IX.)

Die erste Abhandlung[1]) dieser Untersuchung beschäftigte sich ausschliesslich mit der Lehre vom Anschwellen der Reize im Nerven. Demnach wurde dort von den Resultaten der Versuche, die über die Einwirkung elektrischer Reize auf Nerven angestellt waren, nur eben so viel mitgetheilt, als nothwendig schien, um die Unhaltbarkeit der für jene Lehre aufgebrachten Beweise und der ganzen Lehre selbst darzuthun. Hiefür aber genügte die Betrachtung eines bestimmten Falles: zweier Stellen eines Nerven, von denen die obere für absteigende Ströme erregbarer war als die untere, während die untere durch aufsteigende Ströme stärker gereizt wurde, als die obere. Der Zweck dieser Abhandlung ist: ein Fundamentalgesetz zu formuliren, welches den Effect einer elektrischen Reizung als Function der in Frage kommenden Variablen hinstellt, ein Gesetz, von dem der eben angeführte nur ein specieller Fall ist.

Ehe ich aber mit der Schilderung der Experimente beginne, welche zur Erkenntniss jenes Gesetzes führen, muss eine an sich sehr unwesentliche Abänderung der reizenden Elektroden beschrieben werden, welche aber eine nicht unwesentliche Vereinfachung und Zuschärfung der Versuche gestattet. Die von du Bois Reymond an Stelle der früher von ihm benützten Bäusche mit Eiweisshäutchen eingeführten und jetzt allgemein verwendeten unpolarisirbaren Elektroden mit einer Armatur von Thon, der mit Kochsalzlösung angeknetet ist, bieten zwar eine ganze Reihe von unschätzbaren

[1]) Diese Berichte LXXII. Bd., 3. Abthlg., December-Heft.

Vorzügen, die allgemein anerkannt sind, aber auch einige kleine Unbequemlichkeiten und Nachtheile, die der kennt, der viel mit ihnen arbeitet. Bei meinen Elektroden ist das Princip, auf welchem die Stromlosigkeit und Unpolarisirbarkeit der du Bois Reymond'schen Elektroden beruht, vollkommen unverändert beibehalten, nur die Armatur ist eine andere.

Ein Haarpinsel bester Sorte, wie er zum Aquarellmalen dient wird über dem unteren Ende der Federpose mit einem scharfen Messer entzwei geschnitten. Der Schnitt hat die Haare innerhalb der Federpose zu treffen und deren obere Enden, die mitunter in einen Kitt eingeschmolzen sind, zu entfernen soweit dieser Kitt reicht. Hierauf wird ein Glasrohr von solcher Weite, dass das mit dem Pinsel vereinigt gebliebene kurze Stück der Pose bequem hineinpasst, an seinem einen Ende erwärmt und in einen geschmolzenen Kitt eingetaucht, der in festem Zustande wasserdicht ist. Sobald die dünne Schichte, die innen und aussen am Glase haftet, erstarrt ist, wird das abgeschnittene Pinselende in das mit Kitt überzogene Ende des Glasrohres hineingesteckt, aber nicht so tief, dass das kurze Stück Pose ganz im Rohre verschwindet. Nun wird die dünne zwischen Pose und Innenwand des Glasrohres befindliche Kittschichte durch leichtes Anwärmen nochmals geschmolzen, mit der Vorsicht, dass der flüssige Kitt weder am oberen querdurchschnittenen, noch am unteren freien Ende der Pose die Pinselhaare erreicht und zwischen sie eindringt. Dann trägt man mittels einer Pipette so viel von einem frisch angerührten Gypsbrei in die Glasröhre ein, dass derselbe eine etwa einen Centimeter hohe, unmittelbar auf den durchschnittenen Pinselhaaren aufruhende Säule bildet, und lässt das Ganze ein paar Tage ruhig stehen. Solche „Pinselelektroden" (Fig. 1 Tafel IX) sollen 24 Stunden bevor sie zum ersten Male in Gebrauch genommen werden in ein mit Wasser gefülltes Gefäss gelegt werden und sofort nach dem Gebrauch wieder unter Wasser kommen und bis zur nächsten Verwendung darin bleiben. Sie werden zum Gebrauche hergerichtet durch Anfüllen des Glasrohres mit Zinklösung und Eintauchen der Pinsel in Kochsalzlösung. Die amalgamirten Zinkdrähte oder Bleche können ohne Weiteres auf dem Gypsboden ihrer Zelle aufstehen. Die den Glasröhren zu gebende Fassung und Aufstellung wird natürlich der Einzelne nach Geschmack und Bedürfniss variiren — ich habe bei diesen Versuchen eine Befestigung am freien Ende einer langen, schmalen dünnen Bleizunge gewählt, wie ich sie in der ersten Abhandlung beschrieben habe. (Fig. 2.) Solche Elektroden sind jedesmal in

kürzester Zeit zum Versuche hergerichtet; die Armaturen lassen sich leicht (mit den Lippen) haarfein zuspitzen, haben ein sehr erwünschtes Maass von Elasticität, ein während des Versuches fern von der Spitze auf die Haare gebrachtes Wassertröpfchen verbreitet sich sofort durch den ganzen Pinsel, die Armaturen lassen nichts auf dem Präparate zurück, bröckeln nicht ab, und der Widerstand dieser Elektroden ist von derselben Ordnung, wie der der bisher üblichen. Ich hatte nur folgendes Bedenken. Faserige Bündel geben Ströme zwischen Längsschnitt und Querschnitt. Liegt nun der eine Pinsel mit der Spitze, der andere mit dem Mantel (des Kegels) dem Präparat an, so ist zwischen Längs- und (oberem) Querschnitt des letzteren Pinsels ein Kreis geschlossen, in dem die elektromotorischen Kräfte des Pinsels zur Geltung kommen. Ich habe mich aber an einer sehr empfindlichen Boussole davon überzeugt, dass bei dieser Anordnung ein solcher Faserungsstrom nicht wahrnehmbar ist. Alle elektromotorischen physiologischen Versuche lassen sich mit den Pinselelektroden mindestens mit derselben Subtilität, gewiss aber mit grösserer Bequemlichkeit anstellen, als mit Thonelektroden.

Solcher Pinselelektroden habe ich mich nun auch bedient, um die erregenden secundären Ströme bei meinen Versuchen den Nerven zuzuführen.

Alle in dieser Abhandlung mitgetheilten Versuche sind mit Oeffnungsströmen angestellt. Das über die Wirkung der Schliessungsströme zu sagende, findet seinen geeigneten Platz später.

Die Nerven waren ganz so präparirt, wie ich dies in der 1. Abhandlung beschrieben habe, das heisst also: zwischen Becken und Knie vollkommen frei, am unteren Ende im Zusammenhang mit dem in das Pflüger'sche Myographium eingespannten Muskel, am oberen Ende im Zusammenhang mit dem durch Chloralhydrat regungslos gemachten Thiere.[1]) Der Effect, den man erhält, wenn man mit

[1]) Ich habe in der 1. Abhandlung bei Gelegenheit der Beschreibung meiner Präparationsmethode bereits bemerkt, dass schon vor mir mehrere Forscher am unzerschnittenen Nerven experimentirt haben und habe einige von diesen namhaft gemacht. H. Munk ist nicht unter den daselbst citirten und ich trage seinen Namen desshalb hier nach, weil eine im Text gemachte Bemerkung über die geringe Bedeutung, welche dieser Methode von den Forschern bisher beigemessen wurde, sich nicht auf Munk ausdehnen lässt, welcher seine Methode genau geprüft und beschrieben hat und sich über ihre Tragweite gewiss keiner Täuschung hingab, wenn er sie auch nach einer ganz anderen Richtung hin auszubeuten versuchte, als ich.

zwei Elektrodenpaaren abwechselnd reizt, von denen das eine hoch oben, das andere tief unten am Nerven liegt und die alle übrigen Bedingungen in congruenter Weise erfüllen, ist aus der 1. Abhandlung bekannt. Er hängt nämlich von der Stromrichtung ab, so lange die Stromstärke nicht hoch übermaximal ist. Beschränkt man sich auf die Anwendung eines einzigen Elektrodenpaares, welches am Nerven verschoben wird, so lässt sich die Thatsache, dass hoch oben am Nerven die absteigenden, tief unten hingegen die aufsteigenden Inductionsströme die allein wirksamen sind, auf diese Weise leicht bestätigen und es ist die Anordnung des Versuches in dieser Form desshalb der erst beschriebenen vorzuziehen, weil man hier aller Sorge um die Congruenz der Elektrodenpaare enthoben ist.

Legt man die Elektroden hoch oben an und sucht nun diejenige Stromstärke, bei welcher ein absteigender Oeffnungsinductionsstrom eben Zuckung auslöst, so wird man denselben Strom aufsteigend natürlich unwirksam finden. Steigert man nun durch Annäherung der secundären Spirale an die primäre die Stromstärke, so wird endlich die durch den absteigenden Strom ausgelöste Zuckung maximal, während der aufsteigende Strom noch immer unwirksam bleibt. Der Unterschied in der Wirkung der beiden Stromrichtungen beträgt nunmehr gerade das Zukungsmaximum. Rückt man jetzt mit der secundären Spirale noch näher an die primäre heran, so ist die Wirkung des absteigenden Stromes keiner weiteren Steigerung mehr fähig, sie bleibt maximal; der aufsteigende Strom aber bleibt unwirksam bis endlich durch fortwährende Verringerung der Distanz zwischen den Spiralen eine Stromstärke erreicht ist, welche auch bei aufsteigender Richtung des Stromes Zuckung auslöst. Ein analoger Versuch lässt sich am unteren Ende des Nerven anstellen, hier ist ein absteigender Strom noch lange unwirksam, wenn auch der aufsteigende Strom von gleicher Stärke längst die zur Auslösung des Zuckungsmaximums nöthige Intensität übertrifft. (Siehe den Holzschnitt Fig. 3. Somit beträgt der Unterschied in der Wirkung der Stromrichtungen an den Enden der von uns betrachteten Nervenstrecke weit mehr als das Zuckungsmaximum.

Derselbe Satz lässt sich noch in etwas anderer Form beweisen.

Man suche während die Elektroden z. B. oben am Nerven liegen die Intensität des absteigenden Oeffnungsinductionsstromes, welche eben das Maximum der Zuckung auslöst und lasse nun, während man den primären Strom dauernd geschlossen hält, die Feder des Neef'schen Unterbrechers spielen. Der Muskel geräth

natürlich in einen heftigen Tetanus. Kehrt man nun die Richtung der Oeffnungsinductionsströme im Nerven um, so wird man den Muskel in Ruhe verbleiben sehen. Ja, man kann sogar die Stärke des in der einen Richtung wirksamen Reizes so gross nehmen, dass dieser ein einziges Mal applicirt bereits beträchtlich übermaximal ist und man wird denselben Reiz in rascher Folge, den Nerven in der anderen Richtung treffend, immer noch unwirksam finden. Es ist zwar bei Anstellung dieses Versuches wünschenswerth, dass die Schliessungsinductionsströme vom Nerven abgeblendet werden, aber es ist dies nicht unumgänglich nothwendig, da ja ihre Wirkung auf den Nerven überhaupt um so vieles geringer ist, als die der Oeffnungsschläge. (Fig. 3.)

Wenn man nun nicht bloss zwei Stellen des Nerven in Betracht zieht, sondern die ganze frei präparirte Strecke, so findet man, dass die beiden einander polar entgegengesetzten Zuckungsgesetze, welche für die beiden Enden gelten, im Verlaufe der Strecke allmählig in einander übergehen und zwar in der Art, dass jedes Stückchen des Nerven sein eigenes Zuckungsgesetz hat, welches ihm auch, so lange der Nerv unzerschnitten ist, mit merklicher Constanz durch eine geraume Zeit eigenthümlich bleibt, und welches im Allgemeinen dem für das nächstgelegene Ende der Strecke gültigen Gesetz um so ähnlicher ist, je näher das betrachtete Stückchen des Nerven diesem Ende liegt. Irgendwo im Verlaufe des Nerven zwischen den beiden Enden, die ich von nun an „Pole" nennen will, findet sich eine Stelle, an welcher der Nerv für aufsteigende und absteigende Ströme gleich reizbar ist, an welcher also die beiden Phasen des Nerven in einander übergehen, ich will diese Stelle Indifferenzpunkt oder mit Rücksicht auf später hervorzuhebende Analogien „Aequator" nennen.

Nun will ich weder durch eine detaillirte Wiedergabe der eigentlich selbstverständlichen Versuchsweisen, durch welche man zu diesem Resultate gelangt, den Leser ermüden, noch durch den Abdruck zahlreicher Myogramme das Volumen dieser Abhandlung anschwellen — es sei mir aber die Angabe einiger besonders schlagender Experimente vergönnt.

1. Man tastet mit einem Pinselelektrodenpaar die freipräparirte Strecke des Nerven so lange ab, bis man eine Stelle gefunden hat, welche auf zweimaligen Reiz mit entgegengesetzt gerichteten gleich

starken Oeffnungsinductionsschlägen, zwei gleich hohe untermaximale Zuckungen auslöst. Diese Stelle ist der Aequator. Um ihn zu finden, hat man nicht bloss die Entfernung der Elektroden vom Muskel, sondern auch die Entfernung der secundären von der primären Spirale fortwährend variiren müssen. Hat man den Aequator gefunden, so bezeichnet man ihn dadurch, dass man den Nerven in der Mitte zwischen den beiden Elektroden mit einer in Zinnober oder in Russ getauchten Nadel berührt. Nun lässt man die Inductionsspiralen in ihrer gegenseitigen Lage unverändert und applicirt das Elektrodenpaar einmal an eine über dem Aequator (näher zum Becken), einmal an eine unter dem Aequator gelegene Stelle des Nerven. Sofort werden die beiden Zuckungen, die durch die beiden einander entgegengesetzten Reize ausgelöst werden, ungleich hoch, in der ganzen oberen Polstrecke überwiegt der absteigende, in der ganzen unteren Polstrecke der aufsteigende Reiz.

Schiebt man nun die Elektroden wieder in ihre Anfangsstellung zurück, so wird man entweder finden, dass der Aequator seinen Ort am Nerven unverändert beibehalten hat, oder man wird ihn um eine ganz kleine Strecke nach dem Muskelende hin verschoben finden; um eine Strecke, deren Länge nicht leicht einen Millimeter übersteigt, selbst wenn die Zeit zwischen dem Constatiren und dem Wiederaufsuchen des Aequators fünf Minuten betragen hat.

Der Unterschied in der Wirksamkeit der beiden Stromesrichtungen wird um so beträchtlicher, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Er erreicht im oberen Pol sein Maximum dicht unter der Abgangsstelle der Nervenäste für die Oberschenkelmuskulatur, (dieser Punkt bezeichnet überhaupt die obere Grenze der in der ersten Abhandlung und bisher in dieser Abhandlung betrachteten Nervenstrecke) im unteren Pol erreicht der besprochene Unterschied sein Maximum eine kurze Strecke vor dem Eintritt des Nerven in den Muskel. Unterhalb dieses unteren Poles, dicht vor seinem Eintritt in den Muskel, zeigt der Nerv eine besonders geringe Empfindlichkeit gegen elektrische Reize; ein Umstand, auf welchen gleich hier etwas näher eingegangen werden soll. Nachdem wir eine verschiedene Empfindlichkeit oder Reizbarkeit ein und desselben Punktes eines Nerven gegen ein und denselben Strom, je nach der Richtung desselben, kennen gelernt haben, wird es nothwendig, einen neuen Begriff, den der „absoluten Empfindlichkeit" einzuführen. Wäre der Reizeffect unabhängig von der Stromesrichtung, so könnte man als Maass für die absolute Empfindlichkeit einer bestimmten Stelle des Nerven, etwa die Rollen-

distanz benützen, bei welcher von dieser Stelle aus eben eine minimale Zuckung ausgelöst wird, wenn willkürlich gewählte Einheiten in den übrigen Theilen des Apparates innegehalten sind, also eine bestimmte Stromstärke, Drahtdicke, Windungszahl, Länge der primären Spirale; eine bestimmte Drahtdicke, Windungszahl und Länge der secundären Spirale, bestimmte Leitungswiderstände der gesammten secundären Strombahn und eine bestimmte Distanz der beiden Elektroden von einander. Die absolute Empfindlichkeit einer Nervenstelle unter den Verhältnissen wie sie wirklich bestehen wird als Mittel der beiden Empfindlichkeiten für die beiden Stromrichtungen aufzufassen sein. Sie ist demnach ein construirter und nicht ein abstrahirter Begriff, da es in der Erfahrung nur Empfindlichkeit für aufsteigende und Empfindlichkeit für absteigende Ströme giebt. Eine eingehende Erörterung der Art, wie die absolute Empfindlichkeit längs des Nerven vertheilt ist, bleibt einer späteren Mittheilung vorbehalten. Man sieht sofort, dass, wenn die Unterschiede in der absoluten Empfindlichkeit verschiedener Nervenstellen sehr gross wären, die ungünstigere Stromrichtung an der absolut empfindlicheren Stelle immerhin noch wirksamer sein könnte, als die günstigere Stromrichtung an der absolut unempfindlicheren Stelle. Dass dem aber im Allgemeinen nicht so ist, geht schon aus den bisher mitgetheilten Versuchen hervor. Die Unterschiede in der absoluten Empfindlichkeit verschiedener Nervenstellen sind, besonders wenn sie nicht allzu verschiedene Entfernungen vom Aequator haben, im Allgemeinen viel geringer als die Unterschiede in der Empfindlichkeit einer und derselben Nervenstelle[1]) für die beiden Stromrichtungen. — Eine Nervenstelle von auffallend geringer, absoluter Empfindlichkeit haben wir nun in dem alleruntersten Stück des Nerven, unmittelbar vor seinem Eintritte in den Muskel kennen gelernt.

Eine zweite Stelle geringer absoluter Empfindlichkeit liegt an dem oberen Ende der bisher betrachteten Nervenstrecke, also gegen den Abgang der Oberschenkeläste zu.

2. Wir treffen nun folgende Versuchsanordnung: Das vordere Ende der Bleizunge an meinen Elektrodenträgern wird zweckmässig durch Aufbiegen seiner Seitenränder in eine tiefe Rinne oder auch in ein Rohr verwandelt, welches das Glasröhrchen der Elektrode aufnimmt. Reize ich mit zwei Elektroden, deren Distanz während mehrerer Reizungen constant bleiben soll, wie z. B. in dem soeben

---

[1]) Den Aequator sowie seine nächste Umgebung natürlich ausgenommen.

mitgetheilten Versuch, so wird das verbreiterte vordere Ende der Bleizunge der Länge nach gespalten und es wird aus jeder der Hälften eine Rinne gebildet, in der je eine Elektrode mit etwas Klebwachs fixirt wird. Führt man den spaltenden Scheerenschnitt tiefer in die Bleizunge bis gegen das Klötzchen hin fort, so kann man den beiden Elektroden beliebige Entfernungen von einander geben und sie doch mit Beibehaltung der einmal gewählten Distanz bequem am Nerven verschieben. — Aendert man die Elektrodendistanz, so wird man zunächst die Erscheinungen gewahr, die Pflüger in seinem Werke über den Elektrotonus beschrieben hat und die daher rühren, dass im Allgemeinen mit der Länge der interpolaren Strecke die Wirkung der Ströme auf Nerven wächst. — Wir machen nun durch Auseinanderbiegen der beiden Elektrodentragenden Hälften der Bleizunge die interpolare Strecke des Nerven zwölf Millimeter lang, suchen den Aequator, markiren ihn am Nerven durch etwas Zinnoberstaub und verschieben, indem wir alles andere während des ganzen Versuches ungeändert lassen, die Elektroden um drei Millimeter am Nerven hinauf. Der Aequator liegt noch immer zwischen den Elektroden, aber er theilt jetzt ihren Abstand in dem Verhältniss wie eins zu drei[1]).

Reizen wir nun in dieser neuen Lage der Elektroden abermals mit unserem Oeffnungsinductionsschlag den Nerven einmal in absteigender und einmal in aufsteigender Richtung, so erweist sich sofort die erste Reizung als beträchtlich der zweiten überlegen. Wir bringen die Elektroden in ihre frühere Lage zurück und überzeugen uns davon, dass der Aequator seinen Ort am Nerven nicht geändert hat. Schieben wir die Elektroden nunmehr um drei Millimeter nach abwärts, so dass der Aequator ihre Distanz wie drei zu eins tneilt und appliciren unseren Strom in beiden Richtungen, so zeigt es sich, dass jetzt die aufsteigende Reizung einen weitaus grösseren Effect hat, als die absteigende. Die Erklärung dieses Versuches ist sehr einfach. Der Aequator, der die beiden einander entgegengesetzten Zuckungsgesetze von einander trennt, theilt die interpolare Strecke in zwei ungleich grosse Abschnitte und es kommt bei assymmetrischer Lage der Elektroden zum Aequator immer diejenige Zuckungsformel zum Ausdruck, welche für den längeren Abschnitt gilt. Der den längeren Abschnitt treffende Reiz ist ja nach dem Pflüger'schen Gesetze immer absolut grösser als der den kürzeren Abschnitt treffende, indem bei unserer Anordnung immer beide Strecken

[1]) Vom Muskel gegen das Becken zu gerechnet.

gleichzeitig vom reizenden Strome durchflossen werden und also keine Veränderungen des Widerstandes und der absoluten Stromstärke eintreten, wie in den Pflüger'schen Originalversuchen, bei denen einmal ein langes, das andere Mal ein kurzes Nervenstück in die Strombahn eingeschaltet ist. Die Richtigkeit der Pflüger'schen Angabe ist auch ohne diesen Versuch vollkommen sicher gestellt, doch bietet er insoferne eine Vereinfachung ihrer Demonstration, als man hier nicht nöthig hat, eine die Widerstandsveränderung compensirende und die ursprüngliche Stromstärke wiederherstellende Verschiebung der Inductionsrollen gegen einander vorzunehmen, sondern die Gleichheit der Intensität der reizenden Ströme ohne Weiteres durch Einschaltung gleicher Widerstände garantirt ist. — Unser Versuch lässt sich mit grosser Feinheit anstellen. Man kann, wenn man grosse Frösche zur Verfügung hat, die Distanz der beiden Elektroden von einander 25 Millimeter gross machen und dann durch Verschiebungen des Elektrodenpaares, die nicht grösser sind als ein oder zwei Millimeter, bald das Gesetz des oberen, bald das des unteren Poles demonstriren.

3. Nach gehöriger Feststellung der Stromstärke reizt man den Nerven mit dem absteigenden Strom hoch am oberen Pol und lässt den Muskel seine Zuckung aufschreiben. Dann schiebt man die Elektroden etwa um ihre eigene Distanz (die man am besten nicht zu klein, etwa 8 Millimeter gross, nimmt) nach abwärts und reizt wieder mit demselben Strom in derselben Richtung, verschiebt wieder um dieselbe Strecke, reizt wieder absteigend u. s. w., bis man am unteren Ende angelangt ist. Dann schiebt man die Elektroden wieder ganz hinauf, kehrt die Stromrichtung um und verfährt ganz in derselben Weise ein zweites Mal. Denkt man sich die so geschriebenen Ordinaten auf den Nerven selbst als Abscisse aufgetragen, jede auf die ihr entsprechende Stelle des Nerven und verbindet dann ihre oberen Enden mit einander, so erhält man beide Male eine gegen den Nerven geneigte Linie; hat man mit absteigenden Strömen gereizt, so liegt der Scheitel des Winkels, den diese Linie mit dem Nerven bildet, am Muskelende, hat man mit aufsteigenden Strömen gereizt, so liegt der Scheitel des Winkels am oberen Pol des Nerven. Die auf solche Weise gebildete Linie ist durchaus nicht immer eine exacte Gerade. Besonders beim Reizen mit aufsteigenden Strömen steigt sie vom oberen Pol bis gegen den Aequator hin nur langsam, von da ab rasch an, um in der Nähe des Muskels, wegen der daselbst stattfindenden Abnahme der absoluten Empfindlichkeit wieder zu fallen. Lässt man von

dem Punkte, wo die beiden mit gleichen Stromstärken gewonnenen Linien einander schneiden, eine Senkrechte auf den Nerven herab, so trifft diese den Nerven im Aequator.

Eine Frage, die sich nach dem Bekanntwerden des Aequators fast von selbst aufdrängt, ist die: wie sich der Aequator wohl verhalten möge, wenn der Nerv irgendwo in seinem Verlaufe durchschnitten wird? Die Antwort auf diese Frage lässt sich kurz fassen: Der Aequator wandert abwärts. Um diesen Satz zu begründen, will ich einige von den hierauf bezüglichen Versuchen mittheilen.

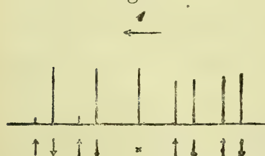
I. Bei diesem Versuche wurde jedesmals, nachdem die Continuitätsstörung im Nerven angebracht war, einige Minuten gewartet, ehe die neue Lage des Aequators bestimmt wurde. Dies geschah desshalb, weil — wie andere Versuche lehren werden — der Aequator mit geringer Geschwindigkeit wandert und es desshalb eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, ehe er stationär wird.

Nachdem der Frosch, wie bekannt, aufpräparirt war, wurde der Aequator gesucht.

	Über dem Eintritt des Nerven in den Muskel.
Er liegt	18·5 Mm.
Dann wird eine Ligatur gemacht	33·0 Mm.
Es wird der Aequator gesucht, er liegt	15·0 Mm.
Es wird eine zweite Ligatur gemacht	22·0 Mm.
Es wird der Aequator gesucht, er liegt	8·0 Mm.

Es ist somit in der Strecke von 8·0 Mm. bis 18·5 Mm. durch die Ligaturen eine Umkehrung des Zuckungsgesetzes bewirkt worden. Der Aequator ist durch diese Strecke von 10·5 Mm. Länge herabgewandert und der in dieser Strecke liegende Theil des Nerven, der früher dem unteren Pol angehörte, ist jetzt dessen oberer Pol. Die Ligaturen wurden mit dünnster chinesischer Seide gemacht, riefen jedesmal nur eine Zuckung des Muskels hervor und unterbrachen die Leitung im Nerven vollkommen.

Fig. 1.



II. Einen zweiten Versuch gebe ich durch eine Copie des Myogrammes wieder.

Das Myogramm ist im Sinne des darüber angebrachten Pfeiles zu lesen. Die ersten vier Ordinaten schrieb der Muskel beim Aufsuchen des Aequators (sie sind die letzten einer grösseren Reihe von Zuckungen, die zu diesem Zwecke ausgelöst wurden und zeigen an, dass der Zweck erreicht ist); die

unter den Ordinaten befindlichen Pfeile bedeuten die Richtung des (in seiner Stärke während des ganzen Versuches ungeänderten) Stromes im Nerven. Nachdem so der Aequator gefunden war, blieben die Elektroden unverrückt am Nerven liegen und es wurde der Nerv etwa einen Centimeter über ihnen ligirt. Hiebei schrieb der Muskel die über dem × befindliche Ordinate. Dann wurde der Nerv abermals mit Wechselströmen gereizt und der Muskel schrieb die vier letzten Ordinaten zum Zeichen, dass die Stelle des Nerven, an der vor der Ligirung der Aequator lag, nach der Ligirung sich über dem Aequator befindet. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass ich ausser den hier mitgetheilten noch zahlreiche analoge Versuche in dieser Hinsicht angestellt habe.

III. Von dem zeitlichen Verlaufe des Hinabrückens des Aequators eine genaue Vorstellung zu gewinnen, ist schwierig, da über dem Auslösen der vielen Zuckungspaare, die zum Bestimmen seines Ortes am Nerven nothwendig sind, eine geraume Zeit vergeht, während welcher er wieder seinen Ort verändert. Man befindet sich hier in einer ähnlichen Lage, wie beim Abwägen einer stark hygroskopischen oder einer sehr flüchtigen Substanz; nur ist es hier am Nerven nicht so leicht, Abhilfe zu schaffen, wie an der Wage. Ich habe in Ermanglung eines besseren, folgenden Ausweg betreten. Ich benütze den bereits erörterten Umstand, dass mit wachsender Entfernung vom Aequator der Unterschied in dem Effect zweier gleicher und entgegengesetzter Ströme auf eine Stelle des Nerven wächst. Nachdem nun mit einer gewissen untermaximalen Stromstärke der Ort des Aequators eruirt ist, bleiben die Elektroden daselbst liegen, es wird oberhalb ligirt und nun in gemessenen Zeiten mit ihre Richtung wechselnden Strömen von gleicher Stärke gereizt. So ist das folgende Myogramm entstanden.

Fig. 2.

Die Gruppe von 4 Ordinaten rechts, ist wieder das Ende jener Reihe von Zuckungen, durch welche der Ort des Aequators bestimmt wurde. Er liegt 22·0 Mm. über dem Muskelende des Nerven. Die Ordinate über dem × schrieb der Muskel beim Ligiren des Nerven, welches an einer Stelle, 6·5 Mm. über dem Aequator vorgenommenwurde. Unmittelbar nach Anlegung der Ligatur wurde die folgende Gruppe geschrieben, und zwar wurde geschrieben:

Gruppe	1	um	5 h,	58′ 0″
„	2	„	5 h,	58′ 30″
„	3	„	5 h,	59′ 30″
„	4	„	6 h,	0′ 0″.

Wie man sieht, nimmt der Unterschied je zweier Ordinaten einer Gruppe mit der Zeit zu.

Ich habe schon früher erwähnt, dass man am unzerschnittenen Nerven den Aequator nach einiger Zeit so ziemlich an derselben Stelle wiederfindet, nur gelegentlich um ein ganz unbeträchtliches Stück nach abwärts verschoben. Dies scheint mir mit folgender Erfahrung zusammenzuhängen. Nach dem Durchschneiden des Nerven wandert der Aequator mit einer gewissen, nicht allzu grossen Geschwindigkeit abwärts, dann aber wird er nicht absolut stationär, sondern er wandert nur viel langsamer, so dass man erst nach 5 oder 10 Minuten die Ortsveränderung mit Deutlichkeit nachweisen kann. Dies hängt gewiss mit dem Absterben des Nerven vom künstlichen Querschnitte aus, zusammen, und das sehr langsame Abwärtswandern des Aequators am unzerschnittenen Nerven ist vielleicht nichts als der Ausdruck der Thatsache, dass auch dieser vom Centrum gegen die Peripherie hin abstirbt. Eine andere Erfahrung über das Wandern des Aequators werde ich an einer späteren Stelle dieser Abhandlung mittheilen, da sie an einer anderen Nervenstrecke gewonnen wurde.

Es ist nämlich gewiss nicht verfrüht, wenn wir uns endlich fragen, wie die bisher betrachteten Verhältnisse am Nerven des Oberschenkels sich gestalten, bei Prüfung der höher gelegenen Partien. Auch auf diese Frage lässt sich eine einfache Antwort geben: Sie wiederholen sich. — Wir wollen zunächst die zwischen dem Abgang der Oberschenkeläste und der Wirbelsäule gelegene Nervenstrecke untersuchen. Eine ausführliche Beschreibung der Präparationsmethode für dieses Stück des Nerven scheint mir nicht nothwendig zu sein. Der Frosch wird wie früher chloralisirt (eine Vorsicht, die ich trotz der gegentheiligen Anschauung einiger Fachgenossen nicht für überflüssig halte) und der *Nervus ischiadicus* möglichst schonend von der Wirbelsäule bis zum Muskel frei präparirt. Es ist zweckmässig die lateralen Theile des Beckens hiebei mit fortzunehmen. Die Niere oder andere sich etwa vordrängende Eingeweide hält man durch einen einfachen Verband zurück. Dass der Nerv im Zusammenhange mit dem übrigen Thiere blieb, ist nunmehr nach den über den Aequator gewonnenen Erfahrungen erst recht selbstverständlich. Bei der

Schilderung der an diesem Nervenstück gemachten Erfahrungen kann ich mich kurz fassen, da die Analogie mit bereits Vorgebrachtem eine sehr beträchtliche ist. Auch diese Nervenstrecke zerfällt in einen oberen und einen unteren Pol, die durch einen Aequator von einander getrennt sind. Der obere Pol ist für absteigende Reize empfindlicher als für aufsteigende, er ist für absteigende Reize empfindlicher als der untere Pol. Der untere Pol ist für aufsteigende Reize empfindlicher als für absteigende und ist für aufsteigende Reize empfindlicher als der obere Pol. Der Aequator (der gewöhnlich unter der Mitte dieser Strecke liegt) ist für beide Richtungen gleich empfindlich und mit zunehmender Entfernung von ihm, nimmt der Unterschied in der Empfindlichkeit für beide Richtungen zu. Das obere Ende des oberen Poles ist die Trennungsstelle in sensible und motorische Wurzel, also die Gegend des Ganglion intervertebrale, das untere Ende des unteren Poles ist die Abgangsstelle der Oberschenkeläste. An diesen beiden Stellen ist die absolute Empfindlichkeit eine merklich geringere. Geht man mit den Elektroden von dem unteren Polende dieser Strecke auf das obere Polende der vorher besprochenen über, so passirt man eine Stelle, an der ebenfalls beide Stromrichtungen gleich wirksam sind, wie an einem Aequator, doch nenne ich diese Stelle ebenso wenig einen Aequator, wie man die Stelle an einem unregelmässigen Magneten, an der zwei Nordpole oder zwei Südpole zusammenstossen einen Aequator nennt; ich nenne sie vielmehr eben wegen dieser Analogie einen Folgepunkt. (Taf. IX, Fig. 4,) Bricht man einem chloralisirten Frosch die Wirbelsäule auf und untersucht (was mit den Pinselelektroden ganz leicht ausführbar ist) eine der motorischen Wurzeln des *Nervus ischiadicus*, so findet man, dass auch diese aus einem Aequator und zwei Polstrecken besteht, für welche das eben Gesagte einfach zu wiederholen ist. Die Gegend der motorischen Fasern, welche dem Ganglion intervertebrale gegenüber liegt, ist ein Folgepunkt.[1]) Bei der Untersuchung der motorischen Wurzel habe ich den übrigen Antheil des Nerven nicht präparirt, auch nicht einen bestimmten Muskel am Myographium schreiben lassen, sondern die Zuckungen des ganzen Beines beobachtet. Der obere Pol dieser

[1]) Bei Anstellung dieser Versuche muss man besondere Vorsicht darauf verwenden, die Wurzel, die man reizt, elektrisch genügend zu isoliren, respective die übrigen zu entfernen, sonst kann wegen der Aneinanderlagerung der unteren Hälfte einer höheren und der oberen Hälfte einer tieferen Wurzel leicht ein gemischter Effect, ja ein scheinbar verkehrter eintreten.

dritten obersten Strecke erstreckt sich bis ins Rückenmark hinein. So hoch oben am Rückenmark als überhaupt durch Inductionsschläge directe Zuckungen der unteren Extremität hervorgerufen werden können, sind die absteigenden Ströme immer wirksamer, als die aufsteigenden — alles was über dem dritten Aequator (dem der motorischen Wurzel) liegt, ist oberer Pol. Dass für die Nerven der vorderen Extremität in dieser Beziehung ein gleiches Gesetz gilt, zeigt folgender Versuch. Man öffnet einem Frosch die Brusthöhle oder präparirt von rückwärts aus die Stelle der Wirbelsäule frei, welche dem Austritt des Armnervengeflechtes aus dem Rückenmark entspricht, dann setzt man die beiden Elektroden zu beiden Seiten des Rückenmarks in derselben Höhe möglichst symmetrisch an. Lässt man nun einen Inductionsschlag von links nach rechts (in Frosch) gehen, so zuckt seine rechte Extremität, weil für deren obersten Pol diese Stromrichtung die günstige (absteigende) ist; wendet man den Strom, so zuckt nunmehr die andere Extremität. Es versteht sich, dass auch dei diesem Versuch die Stromstärke eine gewisse Grenze nicht übersteigen darf.

Durchschneidet man in der zweiten „Strecke“, das heisst: zwischen dem Ganglion und der Abgangsstelle der Aeste für die Oberschenkelmusculatur den Nerven, so kann man auch hier ganz wie in der ersten Strecke das Wandern des Aequators beobachten; nur habe ich hier einige Beobachtungen gemacht, welche mich veranlassen, die Möglichkeit zuzugeben, dass der Aequator unmittelbar nach dem Schnitt zuerst der Schnittsstelle nahe rückt und zwar mit einer für meine Versuchsweise nicht messbaren Geschwindigkeit und erst dann von dieser neuen Lage aus ganz in dar Weise, wie ich sie früher beschrieben habe, zunächst rasch und später von einem gewissen Punkte an, sehr langsam abwärts wandert.

Die Analogie des hier geschilderten Verhaltens der natürlichen Abschnitte des Nerven gegen reizende elektrische Ströme mit dem von du Bois-Reymond entdeckten Verhalten der von herausgeschnittenen Nervenstücken abgeleiteten elektrischen Ströme wird sich wohl dem Leser von selbst dargeboten haben. Je grösser aber die Versuchung ist, auf diese sehr weit gehende Analogie schon jetzt Vermuthungen über den Zusammenhang der specifischen Eigenschaften des Nerven mit seinen elektromotorischen Eigenschaften zu gründen, und so eine Art von Theorie aufzubauen, desto bestimmter muss ein solches Beginnen vermieden werden; denn, wieviel Überredendes und Einschmeichelndes eine solche Theorie auch haben möchte — sie wäre doch in ihrem wichtigsten Punkte auf

Willkür gegründet und es würde ihr gerade dasjenige fehlen, was einer Theorie Werth verleiht: eine feste und ununterbrochene Leitung auf Thatsachen.

ANMERKUNG.

Gegen die in meiner ersten Abhandlung[1]) dargestellten Versuche und die aus ihnen gefolgerten Schlüsse hat E. Tiegel[2]) Einsprache erhoben. Er macht Versuche, welche „unwiderleglich die Unmöglichkeit eines Gesetzes, wie es Fleischl aufgestellt hat" beweisen, und zwar macht er diese Versuche mit folgenden Mitteln.

1. Er verwendet keine unpolarisirbaren Elektroden, sondern Platindrähte.

2. Er verlegt die obere Reizstelle in den *Plexus ischiadicus*, während er das untere Elektrodenpaar in der halben Höhe des Oberschenkels an den Nerven legt.

3. „Von einer directen Prüfung der Widerstände, wie es Fleischl gemacht hat[3]), musste ich (E. Tiegel) aus Mangel an Platz zum gesicherten Aufstellen der Apparate absehen".

4. „Ich suchte mir so zu helfen, dass ich ein viereckiges Stück feinen und gleichmässig dicken Filtrirpapieres zu einer Rolle zusammendrehte, die wenigstens 3 Mm. im Durchmesser hatte. Aus dieser Rolle schnitt ich zwei gleich lange Stücke heraus, die ich in die hakenförmigen Krümmungen der beiden Elektrodenpaare legte, welche bereits den auf Pergamentpapier liegenden Nerven aufgenommen hatten". — — — — „An beiden Stellen des Nerven war so die Nebenschliessung zu diesem eine so gute, dass seine verschiedene Dicke nicht in Betracht kommen konnte".

Die Hauptresultate, zu denen E. Tiegel gelangt, sind folgende. Die Reize von der oberen Reizstelle aus, waren bei ihm immer die wirksameren; und ausserdem hat er bemerkt, dass durch eine Reihe von elektrischen Reizen, besonders wenn diese starke Intensität hatten, die betreffende Stelle des Nerven minder fähig, mitunter sogar ganz unfähig wird, Reize, die von oben her kommen, weiter zu leiten,

---

[1]) Diese Berichte LXXII. Bd., III. Abth., December-Heft.

[2]) E. Tiegel: Vom Einfluss des Reizortes am Nerven auf die Zuckungshöhe des Muskels. (Aus d. physiol. Inst. d. Prof. Goltz in Strassburg.) Archiv f. d. gesammte Physiologie, XIII. Bd., 12. Heft, pg. 598 ff.

[3]) Ich habe natürlich nicht die Widerstände „direct geprüft", sondern — nach Pflüger's Vorgang — mich jedesmal nach dem Versuche von der Gleichheit der Intensitäten der reizenden Ströme an einem in eine Nebenschliessung gestellten Multiplicator überzeugt. (Pag. 6 des Separatabdr., pag. 240 der ges. Abh.)

dass dieser Zustand verminderter Leitungsfähigkeit, wenn die Ströme nicht allzu stark waren, nach einiger Zeit wieder dem normalen Verhalten Platz macht und dass die Nervenstelle, welche sich in jenem Zustande befindet, trotzdem für direct an sie applicirte Reize empfänglich ist.

Ad 1. Den Grund für die Verwendung von Platinelektroden gibt E. Tiegel an einer späteren Stelle (pag. 605) „Anlegen von unpolarisirbaren Elektroden zum Reizen involvirt durch die nicht zu vermeidenden Widerstandsänderungen viel mehr Unregelmässigkeiten, als durch Umgehen der Polarisation ausgeschlossen werden". Auf eine Würdigung dieses Paradoxons gehe ich aus folgendem Grunde nicht ein. Die sorgfältigsten Untersuchungen ausgezeichneter Forscher haben den unersetzlichen Werth der unpolarisirbaren Elektroden constatirt. Man muss die Einführung derselben in die physiologische Technik als einen epochemachenden Fortschritt bezeichnen, und als solcher wird er auch von allen Physiologen meines Wissens anerkannt. Wenn Tiegel dessungeachtet jenen Ausspruch that, so wird er gewiss einen guten Grund dafür haben. Da er diesen Grund aber durchaus nicht angibt, so kann sich auch keine Discussion an die blosse Behauptung anknüpfen. Nur auf den einen Umstand möchte ich hinweisen, dass unpolarisirbare Elektroden dadurch, dass sie die Stromintensität mehr variiren als dies die Polarisation thäte, auch zum Ableiten von Strömen unbrauchbar wären. Sonach wäre eigentlich die ganze Nervenphysiologie einem erneuten Angriff mit Platindrähten zu unterziehen — eine Aufgabe, die nicht nach Jedermanns Geschmack sein dürfte. Aber Entdeckungen wie die, dass Nerven um so mehr von ihren vitalen Eigenschaften einbüssen, je mehr man sie durch Elektrolyse in ihre chemischen Grundbestandtheile zerlegt, würden nicht ausbleiben.

Ad 2. Ich habe in meiner 1. Abhandlung ausdrücklich beschrieben, dass meine Versuche an dem im Oberschenkel liegenden Theil des Nerven gemacht sind. Tiegel konnte damals allerdings nicht wissen, wie wichtig diese Beschränkung für das Versuchsergebniss ist; aber ist es denn nicht unter allen Umständen selbstverständlich, dass man Versuche, die man nachmacht um sie zu widerlegen, genau nachmachen muss. Wenn mein Versuch am Oberschenkelnerven, so wie ich ihn beschrieben habe, rein und richtig ist, so beweist er, ganz abgesehen von den vorgebrachten Beweisen mit chemischen Reizen, die Ungültigkeit der Lehre vom Anschwellen der Reize im Nerven. Gegen die Richtigkeit meines Versuches folgt aus der Tiegel'schen Darstellung gar nichts, da er — gewiss nicht absichtlich — unter

ganz anderen Bedingungen gearbeitet hat, als ich. Aber gegen die Reinheit meines Versuches wendet sich Tiegel mit einem Scheine von Recht, indem er behauptet, ich hätte jene, von ihm beobachtete Verminderung der Leitungsfähigkeit einer öfters gereizten Stelle, nicht berücksichtigt. Indem ich es dahin gestellt sein lasse, ob jene Erscheinung bloss von der Elektrolyse des mit Metallelektroden gereizten Nerven herrührt[1]), oder ob ihr etwas Wirkliches zu Grunde liegt, welches letztere ich hiermit durchaus nicht in Zweifel gezogen haben will, will ich nur bemerken, dass ich durch die zahlreichen Variationen, in denen ich meinen Fundamentalversuch anstellte, einen derartigen Irrthum von vornherein ausgeschlossen habe. Um aus Vielem nur Eines herauszugreifen, möchte ich Tiegel fragen, wie er — die Richtigkeit seiner Beobachtung vorausgesetzt — aus ihr das auf Pag. 243 meiner 1. Abhandlung abgedruckte Myogramm erklären will. Er deutet allerdings den Versuch einer solchen Erklärung an, durch eine unbestimmte Hinweisung auf die wichtige Rolle, welche bei solchen Reizversuchen die von Fick[2]) entdeckte „Lücke", das von Tiegel sogenannte „Intervall" spielt. Es ist dies bekanntlich jene merkwürdige Erscheinung, dass innerhalb gewisser Grenzen für jede Stärke eines constanten, den Nerven durchfliessenden Stromes eine bestimmte Dauer der Schliessung existirt, bei welcher der Muskel nicht zuckt, während er zuckt, wenn derselbe Strom den Nerven während längerer oder kürzerer Zeit durchfliesst. Tiegel hat das Phänomen der Lücke auch bei inducirten Strömen aufgefunden[3]). Er sagt zwar selbst, dass er bei Anwendung einander entgegengesetzter Ströme zwischen beiden Richtungen nur quantitative Unterschiede gefunden habe, „an denen er kein gesetzmässiges Verhalten erkennen konnte"; und somit dürfte es ihm sehr schwer fallen, meinen Versuch ohne Weiteres aus dem Phänomen der Lücke zu erklären — ich will aber doch, nachdem mir dieser Einwand öffentlich gemacht worden ist, ihn direct durch die nochmalige Anführung folgender bereits im Texte erwähnter Versuche zurückweisen.

---

[1]) Dass die öfters gereizte Stelle ihre Empfindlichkeit für directe Reize beibehält, spricht durchaus nicht gegen die Möglichkeit einer solchen Erklärung, denn Stromschleifen mögen immerhin in noch nicht zersetzte Nerventheile hineinreichen. Übrigens mag diese Frage entschieden werden wie immer; sie berührt die von mir vorgebrachten Beweise gar nicht.

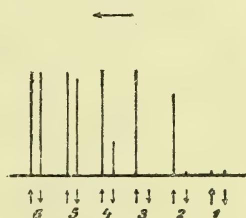
[2]) Fick: Untersuchungen über elektrische Nervenreizung, 1864.

[3]) Tiegel: Weitere Untersuchungen über die Wirkung einzelner Inductionsschläge u. s. w., Arch. f. d. ges. Physiologie, XIII. Bd., 4. u. 5. Heft, pag. 272—284.

Es wird ein unpolarisirbares Elektrodenpaar in die Region des ersten oberen Poles gebracht. Nun beginnt man die secundäre Spirale aus grosser Entfernung der primären zu nähren, indem man den primären Strom jedesmal auf dieselbe Weise öffnet. Bei jeder Stellung der Spiralen wird einmal aufsteigend und einmal absteigend gereizt. Die absteigende Reizung wird zuerst wirksam und löst eine hohe, oft die maximale Zuckung aus, ehe die aufsteigende überhaupt eine Wirkung hat. Bei fortdauernder Annäherung der Spiralen an einander, wird endlich, nachdem die absteigende Zuckung längst schon maximal ist, auch die aufsteigende sich dem Maximum nähern und es schliesslich erreichen — aber so lange noch ein Unterschied zwischen beiden Zuckungen besteht, ist er immer zu Gunsten der absteigenden Stromrichtung. Das Umgekehrte findet man am unteren Pol. Da nun nach Fick's und Tiegel's übereinstimmenden Resultaten nur immer bei einer bestimmten Stromstärke das Phänomen der Lücke auftritt, sobald eine bestimmte Dauer des Stromes gegeben ist, so können unmöglich alle die gleichlautenden Resultate, die bei sehr verschiedenen Stromstärken gewonnen sind, sich aus der „Lücke“ erklären. Zur Illustration des eben Vorgebrachten diene der beistehende Holzschnitt. Das Myogramm ist gezeichnet von einem Muskel, dessen Nerv im ersten unteren Pol gereizt wurde. Die erste Reizung ist immer eine absteigende, die zweite aufsteigend bei derselben Stromstärke. Die Rollenabstände bei den einzelnen Gruppen waren die folgenden:

Bei Gruppe 1—23·0 Centimeter
„ 2—22·0 „
„ 3—21·0 „
„ 4—20·0 „
„ 5—19·0 „
„ 6—18·0 „

Fig. 3.



Das bei diesem Versuche benützte Schlitteninductorium habe ich nach der von mir angegebenen Methode[1]) graduirt und es verhalten sich die Intensitäten der bei Rollendistanzen von 18 und 23 Centimetern inducirten Öffnungsschläge sehr näherungsweise wie 2 zu 1. Hiemit hoffe ich jedes Bedenken, welches aus der Beziehung meiner Versuche auf die Lücke stammen könnte, beseitigt zu haben, abgesehen davon, dass überhaupt Nichts über das Verhalten der Lücke bekannt ist, was in irgend einer Beziehung zu ihnen steht.

---

[1]) E. Fleischl: Über die Graduirung elektrischer Inductionsapparate D. Ber. 1874, LXXII. Bd.

Zu den Punkten 3 und 4 habe ich Nichts zu bemerken. Folgende Betrachtung aber kann ich zum Schlusse nicht unterdrücken. Tiegel gibt mir (l. c. pag. 604) die Lehre: „Indem wir so der, wie ich denke, schon sehr alten Regel genügen, dass bei Reizversuchen jede Zuckung, aus der man etwas folgern will, zwischen zwei Controllzuckungen zu stehen habe, schützen wir uns vor groben Täuschungen". Das ist gewiss richtig. Aber es genügt nicht. Denn nicht nur Zuckungen, sondern noch manches Andere muss man unter gehörige Controlle stellen, wenn man nicht gelegentlich arg irregehen will.

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1 stellt eine Pinselelektrode im Längsschnitt dar.

a — Pinsel,
b—b — das an ihm gelassene Stück Federpose,
c — die Lackfassung,
d — das Gypsdiaphragma,
e — das Glasrohr.

Fig. 2. Eine Pinselelektrode in dem bleiernen Elektrodenträger befestigt.

Fig. 3. Myogramm bei spielender Feder des Magnetelektromotors geschrieben. Der absteigende Strom im oberen Pol *(O)* und der aufsteigende im unteren *(U)* erregen Zuckung und unterhalten bei ihrer Wiederholung Tetanus; während bei umgekehrter Anordnung selbt eine rasche Schlagfolge keine Wirkung auf den Muskel äussert.

Fig. 4. stellt das Resultat der Abtastung eines von der Wirbelsäule bis zum Muskel frei präparirten Nerven dar. Jede der 6 Gruppen besteht aus zwei Zuckungen, die entgegengesetzten Reizen entsprechen, deren Richtung im Nerven durch die Pfeile ersichtlich gemacht ist. Zwischen Gruppe 3 und 4 liegt der Folgepunkt (Abgang der Oberschenkeläste); Gruppe 2 ist genau vom oberen Aequator aus geschrieben; Gruppe 5 entspricht ungefähr dem unteren Aequator (die Elektroden lagen nur etwas zu hoch); Gruppe 1 und 4 sind von den oberen, 3 und 6 von den unteren Polen aus geschrieben. Die Lagerungen der Elektroden beim Schreiben dieser 6 Gruppen macht folgende Tabelle ersichtlich.

Die gereizte Stelle, (ihre Mitte) lag bei

Gruppe	1— 6·0 Mm.	unter dem Austritt	a. d. Wirbelsäule,
„	2—11·0 Mm.	„	„
„	3—18·0 Mm.	„	„
„	4—26·5 Mm.	„	„
„	5—36·0 Mm.	„	„
„	6—45·0 Mm.	„	„

Die Länge des ganzen Nerven betrug 51 Mm.

III. Abhandlung.

Das Rheonom.

(Aus dem LXXVI. Bande des Sitzb. der k. Akad. d. Wissensch. III. Abth. Oct.-Heft. Jahrg. 1877.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 19. Juli 1877.)

(Mit Tafeln X—XIII u. 7 Holzschnitten.)

Nachdem in den beiden ersten Abhandlungen dieser Untersuchung[1]) eine sehr auffallende und regelmässige Polarität in dem Verhalten von Nerven gegen Inductionsströme nachgewiesen wurde, musste sich die Frage, ob in dem Verhalten unzerschnittener Nerven gegen Kettenströme eine Analogie hiezu zu finden sei, von selbst darbieten. Für die Beantwortung dieser Frage wäre eine Versuchsanordnung, welche ausser dem Nerven und der constanten Stromquelle noch eine Vorrichtung enthielte, die (wie Pflüger's Fallhammer oder der im Leipziger Institut erfundene Capillarcontact) eine regelmässige, allemal mit derselben Geschwindigkeit sich vollziehende Schliessung und Oeffnung des constanten Stromes besorgte, ausreichend gewesen und hat sich auch in Vorversuchen als ausreichend erwiesen. Wer aber vermöchte mit einer derartigen Vorrichtung längere Zeit zu experimentiren, ohne dass sich ihm immer wieder die Thatsache aufdrängte, dass die leiseste Ungleichheit in der Geschwindigkeit der Schliessung und Oeffnung den Effect am Muskel mehr beeinflusst, als irgend eine andere Veränderung im Versuche; und mit der Thatsache zugleich der Wunsch, das Gesetz jenes Einflusses kennen und die störenden Unregelmässigkeiten vermeiden zu lernen. Nun, das Gesetz, das hier zu Grunde liegt, ist offenbar jenes Gesetz, welches die Wirkung eines Stromes auf den Nerven und mittelbar auf den Muskel als Function der Geschwindigkeit

[1]) E. v. Fleischl: Ueber die Lehre vom Anschwellen der Reize im Nerven. D. B. LXXII. Bd. III. Abth. — Derselbe: Ueber die Wirkung secundärer elektrischer Ströme auf Nerven. D. B. LXXIV. Bd. III. Abth.

hinstellt, mit welcher der Strom im Nerven entsteht oder vergeht. Du Bois-Reymond hat dieses Gesetz folgendermassen formulirt[1]): „Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung des zugehörigen Muskels antwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum anderen, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, die diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Grösse vor sich gingen, oder je grösser sie in der Zeiteinheit waren." — Nun hat dieses Princip nicht nur allen Thatsachen, welche zur Zeit seiner Formulirung bekannt waren, vollkommen genügt, sondern es ist auch seitdem keine Erscheinung auf dem Gebiete der Nerven- und Muskelphysiologie bekannt geworden, welche nicht mit diesem Principe, soweit sie dasselbe überhaupt betraf, in bester Uebereinstimmung gewesen wäre. Und doch ist dieses Princip niemals bewiesen worden, so deutlich auch der Weg der Beweisführung vorgezeichnet war, so leicht auch der vorgezeichnete Weg einzuschlagen schien. Bedurfte es doch weiter keiner Mittel, als eines galvanischen Stromes, der sich im Nerven binnen einer gegebenen Zeit von einer bestimmten Intensität zu einer zweiten bestimmten Intensität allmälig erhob oder absenkte. Die Erfahrung der letzten dreissig Jahre hat aber gelehrt, dass diese Bedingung leichter eingesehen und gestellt, als realisirt ist. Du Bois-Reymond war sich der herrschenden Schwierigkeiten wohl bewusst, als er 1848 die Worte schrieb[2]): „Ebenso ist es denkbar, obschon auch hier kein bekannter Weg offen steht, dass man es dazu bringe, sich in einen Strom von bestimmter, bekannter und hinreichend einfacher Dichtigkeitscurve zu verschaffen."

Offenbar war es die Ueberzeugung von der Wichtigkeit eines Beweises seines Gesetzes, die du Bois-Reymond veranlasste, im Jahre 1861 nochmals auf den Gegenstand zurückzukommen. Paragraph XIV seiner Schrift: „Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken"[3]) führt den Titel: „Vom Schwankungsrheochord, einer Vorrichtung zum Erweise des allgemeinen Gesetzes der Nervenerregung durch den Strom"[4]), und beginnt mit folgenden Worten: „Mit wie grosser Wahrscheinlichkeit das von mir sogenannte Gesetz der Nervenerregung durch den Strom aus der Gesammtheit der Thatsachen hervorging, die ich im ersten Bande meiner „„Untersuchungen"" dafür beibrachte, so

---

[1]) E. du Bois-Reymond, Untersuchungen u. s. w. Bd. I. p. 258 f.

[2]) L. c. pag. 272.

[3]) Berliner Akademieberichte 1862, p. 75 ff. Ges. Abh. I, p. 145 ff.

[4]) Ges. Abh. I, p. 198 ff.

hatte ich es doch an einem ganz unmittelbaren Beweise dafür fehlen lassen. In der That gebrach es mir damals an einem Mittel, um eine positive oder negative Stromesschwankung von passender Grösse und nach Willkür zu beherrschender Geschwindigkeit hervorzubringen".

In dieser eben citirten Abhandlung schlägt du Bois-Reymond eine Methode zur Erreichung des angestrebten Zieles vor, welche im Wesentlichen in einer stetigen Verminderung eines in eine Nebenschliessung zum Nerven gestellten Widerstandes besteht. Diese Nebenschliessung wird durch einen ausgespannten Eisendraht (Rheochorddraht) dargestellt. Der eine Zuleitungsdraht wird mit dem einen Ende des Rheochorddrahtes verbunden, der andere Zuleitungsdraht steht in Verbindung mit einer Quecksilbermasse, welche eine stählerne auf dem Rheochorddrahte verschiebbare Stopfbüchse erfüllt. Die Bewegung, durch welche eine stetige Verkürzung des in die Leitung eingeschalteten Theiles des Rheochorddrahtes bewirkt werden soll, wird dem Quecksilbergefäss dadurch mitgetheilt, dass dieses mittels einer über Rollen geführten Schnur mit dem einen Ende eines kurzen Kautschukschlauches in Verbindung steht, dessen anderes Ende fixirt ist. Dieser Kautschukschlauch wird ausgedehnt, wenn das Quecksilbergefäss in seine Anfangsstellung am oberen Ende des Rheochorddrahtes gebracht wird. Daselbst wird das Gefäss durch eine Vorrichtung festgehalten, bis eine Auslösung es freigiebt. Nunmehr fährt es, durch eine sichere Führung vor seitlichen Schwankungen bewahrt, zunächst in Folge der elastischen Wirkung des Kautschukschlauches und später in Folge seiner eigenen Trägheit den Rheochorddraht entlang und begiebt sich in seine Endstellung, in welcher es durch einen Fangapparat sofort aufgefangen und festgehalten wird. Dieser ganze Apparat befindet sich, wie gesagt, in einer Nebenschliessung zum Nerven und es kann durch Veränderung der Verbindungen bald eine positive, bald eine negative Intensitätsschwankung im Nerven durch die Bewegung des Quecksilbergefässes hervorgebracht werden. Diesen Plan hat du Bois-Reymond vervollständigt und auf einige andere wichtige Fragen ausgedehnt durch Combination des beschriebenen Instrumentes mit zwei einfachen Rheochorden; doch muss ich in Beziehung auf diese Details den Leser auf das Original verweisen.

Wie du Bois-Reymond[1]) selbst bemerkt und wie Jedermann durch Anwendung der Kirchhoff'schen Formeln für Stromverzweigung in linearen Leitern leicht findet, hat eine gleichmässige

[1]) du Bois-Reymond, Untersuchungen I, p. 272, Anmerkung.

Veränderung im Widerstand des einen Zweiges einer binären Stromtheilung eine Veränderung der Intensität im anderen Stromzweig zur Folge, welche, auf die Zeit bezogen, dem Gesetz der Hyperbe folgt. Nun könnte man sich zwar durch entsprechende Wahl der Constanten am Apparate leicht mit der ganzen Stromschwankung so weit vom Pol der Hyperbel weg in ihren einen Ast hineinbegeben, dass die Stromschwankung merklich linear würde; aber am Schwankungsrheochord ist ja schon die Geschwindigkeit des Quecksilbergefässes weit davon entfernt, eine gleichförmige zu sein. Die Bewegung beginnt vielmehr mit einer Geschwindigkeit gleich Null und einem Maximum von Beschleunigung, ähnlich der harmonischen Bewegung; nachdem aber der letzte Theil des Weges vom Quecksilbergefäss nur in Folge der Trägheit zurückgelegt wird, so wird die Geschwindigkeit der Bewegung gegen ihr Ende zu wegen der Reibung eine schwach gleichförmig verzögerte sein. Aber wie dem immer sei, es würde eine experimentelle Ausmittlung der Bewegungsform des Quecksilbergefässes sich jedenfalls mit hinreichender Genauigkeit durchführen lassen. Hieran lag es nicht, dass das Schwankungsrheochord, wie du Bois-Reymond selbst sagt[1], die Hoffnungen, die er darauf setzte, nicht erfüllt hat. Das lag vielmehr in der Unzuverlässigkeit des Contactes zwischen dem Rheochorddraht und dem Quecksilber, welcher zu unstetigen Veränderungen des Widerstandes im Rheochord und somit auch zu unstetigen Stromschwankungen im Nerven Veranlassung gab. Die auf diese Weise entstandenen sehr störenden Zuckungen, die von du Bois-Reymond „Erschütterungszuckungen" genannt werden, sind es, von denen er am Schlusse seiner Abhandlung[2] sagt: „Sie mochten nämlich in einer bestimmten Versuchsreihe noch so sicher beseitigt scheinen, so tauchten sie aus unbekanntem Grunde plötzlich wieder auf, verhinderten die Fortsetzung der Versuche und verdächtigten das schon Beobachtete."

Ausser diesem Versuche du Bois-Reymond's, in ihrer Steilheit veränderbare Stromschwankungen herzustellen, ist meines Wissens nur noch einer zur Lösung dieser Aufgabe gemacht worden. Er rührt von Bernstein her und ist publicirt im Archiv von Reichert und du Bois-Reymond vom Jahre 1862, pag. 531, unter dem Titel: „Vorläufige Mittheilung über einen neuen elektrischen Reizapparat für Nerv und Muskel".

---

[1] Ges. Abh. I, p. 205.

[2] L. c. pag. 206.

Mit dem Princip des Schwankungsrheochords kommt das Princip des Bernstein'schen Apparates insofern überein, als auch bei diesem die Intensität des Stromes in einem das Präparat enthaltenden Leitungszweig dadurch variirt wird, dass man den Widerstand in einem neben dem ersten schliessenden Leitungszweig verändert. Wie im Schwankungsrheochord soll ferner auch bei Bernstein's Apparat die Veränderung des Leitungswiderstandes der Nebenschliessung durch Einschaltung verschiedener Längen eines Drahtes bewirkt werden; nur hat Bernstein darauf Bedacht genommen, die Veränderung der Länge dieses Drahtes mit constanter Geschwindigkeit vor sich gehen zu lassen. Projicirt man die Bewegung eines, einen Halbkreis mit constanter Geschwindigkeit durchlaufenden Punktes senkrecht auf den Durchmesser dieses Halbkreises, so ist die projicirte Bewegung eine harmonische oder Pendelbewegung. Auf einer Anwendung dieses Satzes beruht die Einrichtung von Bernstein's Versuchsplan. Er lässt ein kreisbogenförmiges Stück Platindraht durch die Bewegung eines Pendels so aus einer Quecksilbermasse herausheben, dass in gleichen Zeiten gleiche Drahtlängen auftauchen. Das ausgehobene Drahtstück befindet sich in der Nebenschliessung zum Nervenkreise und macht, da es sich selbst mit constanter Geschwindigkeit verlängert, eine hyperbolische Stromschwankung im Nerven, die man aber, wegen des um so vieles überlegenen Widerstandes dieses letzteren, ohne Weiteres als linear betrachten kann. Am Schlusse der vorläufigen Mittheilung wird betreffs der mit diesem Apparate erhaltenen Resultate auf die ausführliche Publication verwiesen, die aber nicht erschienen ist.

Der wirklichen Anwendung eines solchen Apparates dürfte sich als Hauptschwierigkeit der Umstand entgegenstellen, dass die Einführung selbst beträchtlicher Längen eines metallischen Leiters in die Nebenschliessung zu einem Nerven nur an sich geringe Intensitätsunterschiede in diesem bedingt, die sich desshalb, sollen sie Zuckungen auslösen, rasch vollziehen müssen. Dieser letzten Bedingung kann aber nicht entsprochen werden, da die Bewegung durch ein Pendel hervorgebracht werden soll, und dieses sich nicht beliebig kurz machen lässt.

Da demnach das Princip der Veränderung des Widerstandes einer metallischen Nebenschliessung sich in zwei Applicationen nicht besonders für unseren Zweck bewährt hatte, so versuchte ich andere Methoden heranzuziehen zum Bau von Rheonomen, das heisst von Apparaten, welche die Veränderungen von Stromintensitäten nach einem bestimmten Gesetze vornehmen.

Das Ortho-Rheonom.

Princip.

Dieses Instrument, welches, wie sein Name ausdrücken will, zur Herstellung linearer Intensitätsschwankungen dient, (welches aber ausserdem noch eine Reihe anderer nützlicher Anwendungen bei elektrophysiologischen Versuchen gestattet) beruht auf dem Principe des Wheatstone'schen Stromnetzes, einem Principe, dessen Fruchtbarkeit für die elektrische Technik ja bekannt ist[1]).

Alle Anwendungen dieses Principes[2]) aber beruhen auf der Herstellung einer stromfreien Brücke. Zum Beispiel: Elektromotorische Kräfte und Leitungswiderstände werden allgemein so gemessen, dass man nach passender Einschaltung der zu messenden Grössen in das Stromnetz die Verhältnisse der einzelnen Theile desselben zu einander so lange variirt, bis die Intensität des Stromes in der Brücke gleich Null geworden ist. Aus den Verhältnissen am Stromnetz, welche diesen Zustand bedingen, lassen sich dann die gesuchten Grössen auf einfache Weise berechnen.

Wendet man seine Aufmerksamkeit von der ausschliesslichen Betrachtung jenes einen Falles ab, in welchem die Brücke stromlos ist, und untersucht, nach welchen Gesetzen sich die Intensität des die Brücke durchfliessenden Stromtheiles ändert, während bestimmte Veränderungen in der gesammten Disposition des Stromnetzes vorgenommen werden, so gelangt man alsbald zu einer sehr einfachen Anordnung, bei welcher die Intensitätsänderung des durch die Brücke fliessenden Stromes, der im Stromnetz angebrachten Verschiebung proportional ist. Wird nun diese Verschiebung mit einer constanten Geschwindigkeit vollzogen, so erscheint die Intensität des Brückenstromes als lineare Function der Zeit.

Von dieser einfachen Anordnung ist ein Schema in Fig. 1 dargestellt.

Die von der Kette E kommenden Drähte theilen sich an den Punkten a und b. $acbda$ ist ein leitender (geometrischer) Kreis, cOd

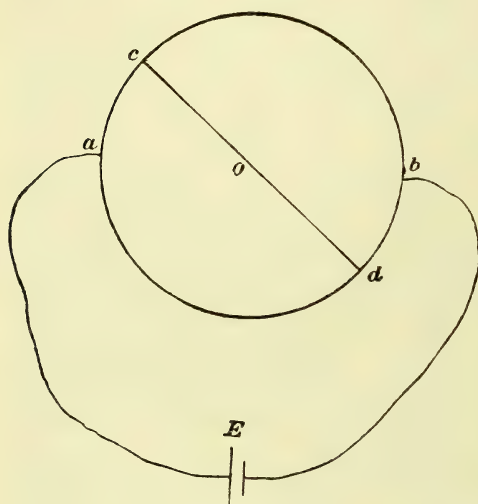
---

1) Ich erinnere nur an die Kraft- und Widerstandsmessmethoden, z. B. an das Siemens'sche Universal-Galvanometer, ferner an gewisse Systeme von Duplex- und Quadruplex-Telegraphen.

2) Eine Auseinandersetzung des Principes selbst dürfte vor einem Leserkreise, wie ihn diese Untersuchungen zu erwarten haben, wohl überflüssig sein. Uebrigens verweise ich auf die Lehrbücher der Physik, z. B. auf Wüllner's Experimentalphysik, 2. Aufl., 4. Bd., pag. 460 ff., ferner auf Wiedemann's Lehre vom Galvanismus uud Elektromagnetismus, 2. Aufl., 1. Bd., 1. Abth. pag. 249 ff.

ein um den Kreismittelpunkt O drehbarer leitender Durchmesser, welcher an den beiden Endpunkten während seiner Drehung fortwährend Contact mit der Peripherie behält. Die Brücke, unser Durchmesser, wird, wie die blosse Anschauung ergiebt, in jenen beiden Lagen, in welchen sie in die Verbindungslinie der Punkte a und b fällt, von einem Maximum von Strom durchflossen sein, in jenen beiden Lagen hingegen, in welchen sie auf aOb senkrecht steht, wird gar kein Strom durch sie gehen. Die später vorzuführende Rechnung lehrt, dass der Stromantheil, den die Brücke in irgend einer Lage dem Netz entnimmt, linear von dem Winkel abhängt, den sie mit irgend einer Anfangslage einschliesst, also z. B. von der Länge des Bogens ac. Würde also die Brücke mit constanter Geschwindigkeit gedreht, so müssten in ihr lineare Stromschwankungen stattfinden, vorausgesetzt, dass die Intensität des Gesammtstromes, also z. B. des Stromes auf irgend einem Querschnitt des ungetheilten Leiters zwischen E und a oder zwischen E und b, während der Drehung der Brücke constant bliebe. Dieses letztere aber kann offenbar nicht der Fall sein. Denn die Intensität eines Stromes hängt ab von der Summe aller Widerstände, die er zu überwinden hat, und ein Glied in dieser Summe ist in unserem Falle nicht constant, sondern abhängig von der Position der Brücke. In der auf aOb senkrechten Stellung leitet ja die Brücke gar nicht, dann ist die Summe der Widerstände ein Maximum; und wenn die Brücke um 90° gedreht von dem grössten in ihr möglichen Stromantheil durchflossen wird, dann ist der variable Theil des Widerstandes und somit die Summe aller Widerstände ein Minimum. Alles dies wird durch die einfache mathemathische Behandlung, welche ich später folgen lasse, viel klarer werden, auch wird diese ein Mittel an die Hand geben, den eben berührten Uebelstand auf ein beliebig geringes Maass zu reduciren, respective ihn für die practische Verwendung vollkommen zu eliminiren.

Fig. 1.



Sollen die von Anderen gemachten Erfahrungen uns zu Gute kommen, dann müssen wir uns hüten vor den unsicheren Metallcontacten (die zwischen Quecksilber und anderen nicht amalgamirten Metallen mit eingeschlossen) und müssen uns hüten vor einer unzweckmässigen Vertheilung der Leitungswiderstände. Denn wenn wir alle Theile unseres Schemas aus Metall gemacht denken und in den Verlauf der Brücke *cd* den Nerven etwa noch auf unpolarisirbaren Elektroden, also jedenfalls einen enormen Widerstand eingeschaltet, dann wird selbst das Maximum von Strom in ihr und im Nerven noch sehr klein sein und wir würden enormer Geschwindigkeiten bedürfen für die Rotation von *cd*, wenn die Stromschwankungen Zuckung erregen sollen. Allen diesen Uebelständen helfen wir mit einem Male ab, wenn wir den Kreis *acbd* selbst aus einem Leiter zweiter Ordnung bestehen lassen. Hier ist nun weiters die Wahl wieder nicht schwer. Zur Vermeidung der schädlichen Polarisation an den Metallenden *c* und *d* und der noch viel schädlicheren an den Metallenden *a* und *b* müssen wir die genannten vier Enden aus amalgamirtem Zink bestehen lassen und den Kreis *acbd* aus einer concentrirten Zinksulphatlösung.

Nach diesem Principe liess ich nun im hiesigen physiologischen Institute von den Dienern der Anstalt ein practicables Modell verfertigen, mit welchem ich eine sehr beträchtliche Anzahl von Versuchen gemacht habe. Die hiebei gewonnenen Erfahrungen wurden bei der Angabe der endgiltigen Form des Instrumentes verwerthet, welches nunmehr von den Herren Mechanikern Mayer & Wolf[1]) in folgender Weise ausgeführt wird.

Beschreibung.

(Siehe hiezu die Tafeln).

Eine gusseiserne Grundplatte *PP* (Taf. X, Fig. 1) trägt den ganzen Apparat. Sie selbst ruht auf drei Fussschrauben. Nahe ihrem Rande erhebt sich aus ihr der eiserne Galgen *GG*. Ebenfalls excentrisch, dem Galgen gegenüber, aber viel näher dem Mittelpunkte als dieser, ist die Platte von einer Schraube *L* durchbohrt, welche an ihrem oberen Ende dicht über der Platte ein Lager zur Aufnahme einer Spitze trägt. Genau vertical über diesem befindet sich am oberen Ende des Apparates die abwärts gewendete Spitze einer mit einer Gegenmutter versehenen Schraube *L'*, welche den horizontalen Arm des Galgens durchbohrt. Zwischen *L* und *L'* läuft

[1]) Wien, Schottenbastei 5.

nun eine verticale stählerne Axe. Mit dieser Axe sind fünf Querstücke fest verbunden, während drei andere Stücke des Apparates an seinem ruhenden Gestelle angebracht sind, nämlich die Platte *KK* und die beiden Arme *A* und *A'*.

Die Platte *KK*, deren Gestalt auf dem Grundriss in Fig. 2 ersichtlich ist, besteht aus Ebonit. In sie ist concentrisch zur Axe eine kreisförmige Rinne *R* eingeschnitten, von der auf Fig. 1 nur die rechteckigen Querschnitte erscheinen. Ausserdem sind in ihr die beiden kreisförmigen Näpfe *NN* (Fig. 2) ausgesenkt, deren Aufriss man in Fig. 1 leicht wiederfinden wird. Jeder der Näpfe steht mit der Rinne durch einen kurzen dünnen Canal (*C*) in Verbindung. In jeden der Näpfe taucht ein rechtwinkelig gebogener Zinkdraht (*Z*) mit seinem verticalen, am Ende zu einer Platte verbreiterten amalgamirten Schenkel, während sein horizontaler Schenkel durch eine kleine Schraube in leitender Verbindung mit einer Schraubenklemme *I* gehalten wird.

Von den beiden Querarmen *A* und *A'* trägt ein jeder an seinem der Axe zugewandten Ende eine horizontale kreisrunde Ebonitplatte *B*, *B'* aufgeschraubt. Fig. 1 *a* zeigt alle Theile dieser Querstücke im Grundriss. Die Platten sind in der Mitte durchbohrt, um die Axe durchzulassen. Ferner ist in jede Platte eine mit der Axe concentrische Kreisrinne eingeschnitten (*U*, *U'*). Aus dieser Rinne leitet ein isolirter Platindraht bis zu der Schraubenklemme *E, E'* (Fig. 1), woselbst er durch ein Schräubchen befestigt ist. Die Klemmen *E* und *E'* sitzen mittels Ebonitfutters isolirt auf dem Galgen *G*.

Nun folgt die Beschreibung der fünf mit der Axe beweglichen Stücke in der Reihenfolge, in welcher sie von unten nach oben an der Axe angebracht sind.

1. Der gleicharmige, aus Metall gefertigte „Hebel“ *H* (siehe auch Fig. 2). Er ist beiderseits gerade über der Kreisrinne *R* vertical durchbohrt und in den Löchern stecken, durch Ebonitfutter isolirt, Schraubenklemmen, welche selbst wieder vertical durchbohrt sind. In diese Bohrungen werden die „Zinkschwerter“ *S* so eingeklemmt, dass ihre Spitzen einige Millimeter über dem Boden der Rinne stehen. Die Schwerter bestehen aus Zinkdraht, welcher am einen Ende in die Form einer sehr dünnen zweischneidigen Klinge gefeilt und an diesem Ende amalgamirt ist. Die Schwerter sind so zu stellen, dass ihre Blattflächen senkrecht auf die entsprechenden Radien der Rinne stehen. Ausserdem trägt jede der Klemmen *O* noch ein Schräubchen, von dem aus ein umsponnener Kupferdraht längs des Hebels *H* gegen die Axe zu und dann längs dieser hinaufläuft. Die Endigungs-

weise dieser Drähte wird später zu beschreiben sein. An die beiden Enden des Hebels können ferner noch die beiden Daumen D und D' von denen der eine etwas höher ist als der andere, mittels Hülsen und Schrauben befestigt werden und ausserdem ragen von ihnen Indices nach unten, welche über einer längs der Kreisrinne angebrachten Kreistheilung spielen.

2. Ein gewichtiges Schwungrad M.

3. Die Schnurlaufscheibe F zur Verbindung des Apparates mit einem Motor.

4. und 5. Die beiden Querarme Q und Q'. Sie sind durch Stellschrauben an die Axe festgeklemmt. (Siehe auch Taf. XII, Fig 1 *b*.) Die Hülse, mit der sie der Axe aufsitzen, ist von dieser isolirt und trägt ein Schräubchen und den Querarm selbst mit einer verticalen Durchbohrung nahe seinem freien Ende gerade über der Kreisrinne U. An den Schräubchen endigen die beiden, an der Axe isolirt hinaufgeführten, von den Klemmen O kommenden Kupferdrähte und in den verticalen Bohrungen zunächst dem freien Ende der Querarme ist je ein Kupferdraht festgeklemmt, an dessen unteres Ende ein feinstes Platinadrähtchen angelöthet ist. Dieses letztere ist amalgamirt[1]) und ragt in die Rinne U (resp. U') hinein.

Zum Gebrauch wird der Apparat hergerichtet durch Anfüllen der Rinnen U und U' mit Quecksilber und der Rinne R sammt den Näpfchen N mit einer concentrirten Zinksulphatlösung. Bei letzterer Operation hat man Aufmerksamkeit darauf zu verwenden, dass die in den Canälchen C mit einiger Hartnäckigkeit festsitzende Luft vertrieben werde. Ein dünnes, an einem Ende rechtwinklig abgebogenes Zinkdrähtchen wird mit Vortheil zu diesem Zwecke verwendet. — An die Klemmen I kommen die Batteriedrähte; an die Klemmen E und E' die Drähte, welche den linear schwankenden Strom an den Ort seiner Bestimmung leiten. Die Beziehung der einzelnen Theile des Apparates auf das pag. 274 gegebene Schema seines Principes ist leicht. Die Enden der Canäle C in der Rinne entsprechen den Punkten a und b des Schemas. Die eintauchenden Theile der Zinkschwerter S entsprechen den Punkten c und d des Schemas; und die selbstverständlichen Ableitungsvorrichtungen, welche sonst noch am Apparate vorkommen, compliciren diesen nicht so dass man nicht mit einem Blicke übersehen könnte: ein zwischen E und E' eingeschaltetes Präparat sei einfach in die Bahn des in cd des Schemas circulirenden Brückenstromes eingeschaltet.

[1]) Um Platina zu amalgamiren, überziehe ich es galvanisch mit einer dünnsten Schichte Kupfers und verquicke dann dieses.

Wie schon die vorhergehende flüchtige Erörterung unseres Principes ergeben hat und wie im Verlaufe der Darstellung noch genauer erörtert werden wird, kehrt die Stromstärke in der Brücke bei jeder ganzen Umdrehung zweimal auf Null zurück und es kann für viele Versuche wichtig sein, den Nerven nicht von einer Reihe von Stromschwankungen treffen zu lassen, sondern nur von einer einzigen. Um diesen Zweck zu erreichen, habe ich am Apparat eine Vorrichtung anbringen lassen, die sich nach vielen anderen Versuchen als die verlässlichste erwiesen hat. Sie ermöglicht: Den Brückenstrom vom Nerven abzublenden bis zu einem Moment, in dem seine Intensität Null ist und ihn dann wieder, sobald seine Intensität wieder Null geworden ist, dauernd vom Nerven abzublenden, so dass bloss eine Schwankung, bestehend aus einem aufsteigenden und einem absteigenden Ast, beide in Null endigend, den Nerven trifft.

Diese Vorrichtung blendet nun in Wirklichkeit nicht den Brückenstrom vom Nerven ab, bis auf jene eine Schwankung, sondern sie blendet den Batteriestrom vom Apparat ab, lässt ihn dann in diesen eintreten in einem Moment, in dem sein Antheil in der Brücke wegen der Position derselben Null ist und blendet den Batteriestrom wieder vom Apparat ab, wenn gerade die Brücke stromlos ist.

Sie ist dargestellt im Grundriss in Fig 2 *XYX* und im Aufriss in Fig. 3. Im Wesentlichen besteht sie aus zwei Quecksilbernäpfen *X*, *X*, und aus dem mehrmals rechtwinklig gebogenen Kupferdraht *mm*. Von einer der Klemmen *I* (welche die Batteriedrähte aufnehmen) führt eine Leitung in die beiden Quecksilbernäpfe *X*, *X*; von der anderen Klemme *I* führt eine Leitung zum Draht *mm*, welcher um die horizontale Axe *a* (Fig. 3 und 6) drehbar ist. Offenbar ist der Batteriestrom vom ganzen übrigen Apparat abgeblendet, sobald der Draht *mm* mit einem seiner beiden Enden in das Quecksilber in einem der Näpfchen *X* eintaucht, circulirt also nur dann im Apparate, wenn, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist, beide Contacte *mX* gleichzeitig unterbrochen sind.

Sämmtliche Theile der Abblendungsvorrichtung mit Ausnahme der Näpfchen *XX* sind theils fest, theils beweglich an einem Metallstück angebracht, welches um die horizontale Axe *TT* (Fig. 4 und 5) so weit drehbar ist, als die beiden Anstossschrauben A und *B* gestatten. Sich selbst überlassen, legt sich dieses Stück (*TFCG*, Fig. 5) so weit zurück, als die Schraube *B* zulässt und entzieht sich sammt seinen Adnexis dem Bereich des rotirenden Hebels *H* und der an ihm angebrachten Daumen *D* und *D'* (Fig. 5, vergl. Fig. 1). Wird

jedoch das Stück *TFCG* mit der Hand so weit nach vorne gedreht (um die Axe *T*), bis es an Schraube *A* anstösst,[1]) so wird dadurch der mit ihm in Verbindung stehende Theil *Y* in die Bahn von *D* und *D'* gebracht. Dieses Stück *Y* ist fest mit der Axe *oo*, Fig. 5) verbunden und besteht aus zwei Schenkeln y_1 und y_2, welche in Fig. 6 *α* und *β* in der Ansicht von oben dargestellt sind. Man denke sich nun erst bei zurückgeneigter Lage des ganzen Abblenders das Stück *Y* in die Lage gedreht, in der es Fig. 6 *α* gezeichnet ist und dann, während der Hebel des Rheonoms in voller Rotation ist, den Abblender plötzlich vorgestossen. Welcher von den Daumen *D* und *D'* nun zuerst am Abblender vorbeirotirt, wird an den Arm y_1 anstossen[2]) und diesen sammt der Axe *oo* (Fig. 5) um ein gewisses Stück drehen; der als zweiter am Abblender vorbeirotirende Daumen findet dann den Arm y_2 in seiner Bahn[3]) und dreht ihn aus derselben weg; hiedurch wird die Axe *oo* im selben Sinne wie früher ein Stück weiter gedreht.

Es erübrigt nun noch die Beschreibung jener Stücke, durch welche die Drehung des Drahtes *mm* um seine Axe *a* (Fig. 3) so mit der Drehung von *Y* um seine Axe *oo* verbunden ist, dass der Draht *mm* nur während der Zeit mit beiden Enden aus dem Quecksilber der Näpfe *XX* ausgehoben ist, welche vergeht vom ersten Anstoss eines Daumens *D* an y_1 bis zum zweiten Anstoss des zweiten Daumens an y_2. Zu diesem Ende erhebt sich aus dem Drahte *mm* gerade über der Axe *a* ein verticaler Arm, der oben horizontal der Axe *oo* zu gebogen und in seinem horizontalen Verlaufe gabelig gespalten ist *f*, Fig. 5. In den Figuren 6 ist die Axe *a* des Drahtes *mm* gezeichnet und von ihr sieht man sich nach hinten den gespaltenen Ast von *f* erstrecken gegen die Axe *o* des Stückes *Y* zu, welche in diesen Figuren verkürzt als Kreis erscheint. Aus dieser Axe kommt ein im Kreisbogen nach unten gekrümmter Dorn hervor *s*, Fig. 5 und 6, welcher zwischen die beiden Zinken von *f* hineinragt und bei allen Stellungen des Abblenders zwischen ihnen bleibt. Da sowohl er als auch das Stück *Y* fest mit der Axe *oo* verbunden sind, so zwingt jede seitliche Bewegung von *Y* die Gabel *f* zu einer entsprechenden seitlichen Bewegung, die sie aber nur ausführen kann durch Drehung um die Axe *a*, welche Drehung dann wieder der Draht *mm* mitmachen muss.

---

[1]) In dieser Stellung ist Fig. 5 gezeichnet, doch ist in ihr die Spitze der Schraube nicht sichtbar.

[2]) Dieser Moment ist in Fig. 6 *α* dargestellt.

[3]) Dieser Moment ist in Fig. 6 *β* dargestellt.

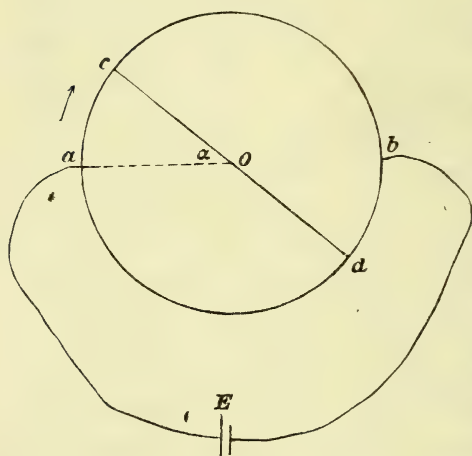
Durch richtige Stellung der Schraube A und der Daumen D und D' auf H und richtige Einstellung der Quecksilberniveaux in XX bringt man es dahin, dass im Moment des ersten Anschlages von D und Y der Kupferdraht sein eines Ende aus Quecksilber aushebt: im Moment des zweiten Anschlages hingegen sein anderes Ende in Quecksilber eintaucht.

Damit bei dieser Bewegung kein Schleudern um die Axe *oo* stattfinde, ist an ihr noch die kleine Scheibe *n* (Fig. 5, 5 *b*) fest angebracht, auf deren Peripherie die Feder *e* mit durch die Schraube *h* (Fig. 5 *b*) veränderbarer Reibung schleift.

Damit endlich die Aufhebung und Wiederherstellung des Contactes von *mm* mit XX genau in jenem Momente vollzogen wird, in welchem die Brücke wegen ihrer Position stromlos ist, ist der ganze Abblender auf eine massive Hülse gesetzt, die durch Drehung der Schraube R' (Fig. II und IV) in der Gegend des stromlosen Azimuthes hin- und hergeführt werden kann.[1])

Theorie.

Fig. 2.



Wir bezeichnen die elektromotorische Kraft der Kette E mit E, den Widerstand in der Kette und in den Zuleitungstheilen, also in der Bahn *aEb* mit W, die Intensität des Stromes in *aEb* mit J, ferner mit w' den Widerstand in *ac* oder in *bd*, mit i' die Intensität daselbst; mit w'' den Widerstand in *bc* oder in *ad*, mit i'' die Intensität daselbst; mit w den Widerstand in *cd*, mit i die Intensität selbst. — E, w und W sind constant, alle anderen Grössen sind veränderlich mit der Position von *cd*. Zwischen diesen Grössen bestehen nach den Kirchhoff'schen Sätzen über die Verzweigung von Strömen in linearen Leitern folgende Relationen. Aus dem ersten Satz folgen:

$$i' = i + i'' \qquad 1)$$

$$J = i' + i'' \qquad 2)$$

---

[1]) Auf dieselbe Schraube kann mittelst einer anderen Hülse ein Walzencommutator aufgesetzt werden, welcher jedesmal, wenn einer der Daumen D an ihm vorbeikömmt, umgeworfen wird.

Aus dem zweiten Satz folgen:

$$i w' + i w = i'' w'' \qquad 3)$$

$$J W + i' w' + i'' w'' = E \qquad 4)$$

Aus den Gleichungen 1) und 3) erhält man durch Eliminiren von i:

$$i' (w + w') = i'' (w + w'') \qquad 5)$$

Ebenso aus den Gleichungen 2) und 4) durch Eliminiren von J:

$$i' (W + w') + i'' (W + w'') = E \qquad 6)$$

Löst man die Gleichungen 5) und 6) nach i' und i'' auf und setzt die erhaltenen Werthe in Gleichung 1), so folgt unter Berücksichtigung der Vorzeichen für alle vier Quadranten:

$$i = \pm E \frac{w' - w''}{2 (W w + w' w'') + (W + w)(w' + w'')} \qquad 7)$$

In dieser Gleichung erscheinen unter den Grössen, von denen der Werth von i abhängt, nur zwei Variable: w' und w'', die übrigen Stücke sind constant.

Wir führen nun als neue Variable eine Grösse a ein, welche den Winkel bezeichnet, den die Richtung von cd mit der Linie ab einschliesst. Wir zählen den Winkel von a an im Sinne des Pfeiles in der Figur, nämlich im Sinne der Rotation des Instrumentes beim Gebrauche.

Der Widerstand in ac, w' ist gleich $\frac{s}{q} l'$, wobei s den specifischen Widerstand der angewendeten Flüssigkeit, q den Querschnitt der Flüssigkeit in der Rinne und l die Länge des Bogens ac bedeutet.

Da s und q über die ganze Rinne sich gleich bleiben, so kann man setzen $w' = k l'$, wobei $k = \frac{s}{q}$. Ebenso erhält man: $w'' = k l''$.

Nun ist aber

$$\left.\begin{aligned} l' &= r a \\ \text{und } l'' &= r (\pi - a) \end{aligned}\right\} \qquad 8)$$

wobei r den Radius der Kreisrinne bezeichnet.

Demnach ist

$$\left.\begin{aligned} w' &= k r a \\ w'' &= k r \pi - k r a \end{aligned}\right\} \qquad 9)$$

Substituirt man die Werthe aus 9) in 7), so erhält man nach einiger Reduction:

$$i = \pm \frac{E}{2kr} \frac{2\alpha - \pi}{\alpha\pi - \alpha^2 + A} \qquad 10)$$

worin A eine Constante und gleich ist:

$$\frac{Ww}{k^2r^2} + \frac{\pi(W+w)}{2kr}.$$

Wie aus Gleichung 10) hervorgeht, wird $i = 0$, wenn $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ist.[1]) Diese Bedingung wird während einer ganzen Umdrehung zweimal erfüllt. Einmal nähert sich i von der positiven Seite her der Null, das anderemal von der negativen Seite her. Die grössten absoluten Werthe des Zählers und auch des ganzen Ausdruckes für finden statt für $\alpha = 0$ und $\alpha = \pi$.

Da Gleichung 10) vom dritten Grade ist, so ist i keine lineare Function von α, ebenso wenig wie eine der Grössen i', i'' und J.

Wenn man aber aus 1) und 2) den Ausdruck für $\frac{i}{J}$ sucht und in diesen Ausdruck die Werthe für i' und i'' einsetzt, die man aus der Auflösung der Gleichungen 5) und 6) erhalten hat und hierin dann für w' und w'' die Werthe aus 9), so erhält man:

$$\frac{i}{J} = \pm \frac{2\alpha - \pi}{\frac{2w}{kr} + \pi} \qquad 11)$$

eine lineare Function von α.

Das Verhältniss der Stromstärke in der Brücke zu der Stärke des Gesammtstromes nimmt also proportional den Azimuthen der Brücke ab und zu.

Wäre in Gleichung 11) J eine Constante, so wäre i eine lineare Function von α, das heisst: wäre die Gesammtstromstärke unabhängig von der Stellung der Brücke, dann wäre die Stromstärke in der Brücke proportional dem Drehungswinkel und es fragt sich nun bloss, wie sehr jene Schwankungen von J im gegebenen Falle in den Habitus der Function eingreifen, und durch welche Mittel man die Function möglichst linear machen kann.

Nun ist es selbstverständlich, dass der Umstand, ob die Brücke vom Strom durchflossen wird oder nicht, um so weniger für den Werth der Stärke des Gesammtstromes ins Gewicht fällt, ein je geringerer Antheil des Gesammtstromes bei der günstigsten Stellung der Brücke durch diese fliesst, je grösser also der Widerstand der

---

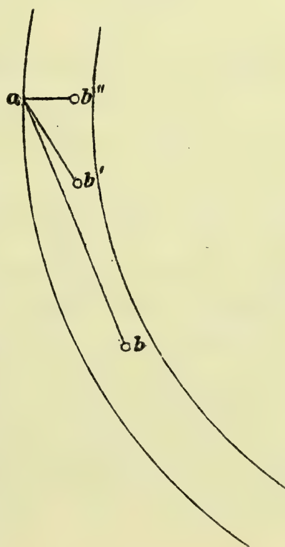
[1]) α wird nicht über π hinaus gezählt, sondern, sobald es diesen Werth erreicht hat, wieder von 0 an.

Brücke im Verhältniss zum Widerstand der übrigen Leitungstheile ist. Man braucht also bloss den Widerstand in der Brücke sehr gross zu machen gegen den der Flüssigkeit in der Rinne und entsprechend grosse elektromotorische Kräfte anzuwenden, um Ströme von beliebiger Intensität in ihren Schwankungen beliebig an lineare Schwankungen anzunähern.

Während demnach die aus der Abhängigkeit der Gesammtstromstärke von der Brückenstellung herrührenden Abweichungen der Schwankungscurve von der geraden Linie beliebig klein gemacht werden können, lässt sich die Verminderung einer aus einem anderen Grunde herrührenden Abweichung unserer Curve von der Geraden nicht bis zur völligen Extinction, wohl aber bis auf einen jedem practischen Bedürfniss genügenden Grad treiben.

Der Grund für diese Abweichung liegt in den nicht zu vernachlässigenden Dimensionen des Querschnittes unserer Rinne. Auf Leiter von dem Umfang unseres Flüssigkeitsringes angewendet, geben die Kirchhoff'schen Sätze für die Verzweigung des Stromes in linearen Leitern Resultate, die unter Umständen nicht einmal näherungsweise giltig sind. Solange in unserem Falle die ableitenden Zinkschwerter in einiger Entfernung von den zuleitenden Kanalöffnungen sich befinden, mag man getrost die Widerstände in den Segmenten der Kreisrinne der Länge dieser Segmente proportional setzen. Sobald aber die Zinkschwerter in die Nähe der Zuleitungsöffnungen kommen, tritt die Breite der Rinne immer mehr in die massgebende Grössenordnung, und das Gesetz der proportionalen Abnahme des Widerstandes mit der Bogenlänge wird immer unrichtiger. Ein Blick auf den Holzschnitt wird dies ganz deutlich machen.

Fig. 3.



Die mit b, b', b'' bezeichneten Kreise stellen das eine Zinkschwert in verschiedenen Positionen zu der Zuleitungsstelle a vor. Die Widerstände ba, $b'a$, $b''a$ verhalten sich offenbar nicht wie die entsprechenden Bogenlängen, sie nehmen weniger schnell ab, als diese und zuletzt bleibt bei einer Bogenlänge 0 ein Widerstand über, der wesentlich durch die Länge ab'' bestimmt ist.

Welche Mittel stehen uns nun zu Gebote, um diese Abweichung zu eliminiren? Der Querschnitt der Rinne lässt sich nicht beliebig verkleinern; erstens nicht, weil sonst die Flüssigkeit bei der Rotation des Apparates vor den Zinkschwertern in Wellenbergen hergetrieben würde und ihnen in Wellenthälern nachfolgen würde und zweitens nicht, weil der Widerstand im Flüssigkeitsring nicht verschwinden würde gegen den der Brücke, welches aber, wie wir gesehen haben, eine Bedingung ist zur Eliminirung der früher besprochenen Abweichung. — Es bleibt also nichts übrig als die Zinkschwerter so nahe als es angeht, an der äusseren Wand der Rinne rotiren zu lassen.

Wirkungsweise.

Um mich durch directe Messung von dem Grade der Correctheit meines Apparates zu überzeugen, schaltete ich in den Brückenkreis desselben ein Galvanometer mit Spiegelablesung ein und stellte dessen Multiplicationsrollen so, dass für die abzulesenden Ablenkungen gerade die ganze 1 Meter betragende Länge der Scala verbraucht wurde. Diese war dicht über dem Fernrohre in einer Entfernung von 2·66 Metern vom Spiegel angebracht. Demnach betrug die grösste Ablenkung des Magnetringes aus der Meridianebene weniger als $5^1/_2{}^0$ und es sind also die Ablesungen den Stromstärken proportional zu setzen. An einer längs der Rinne angebrachten Kreistheilung waren die beiden Eintrittspunkte des Stromes in die Rinne mit 0, die Endpunkte des auf ihre Verbindungslinie senkrechten Durchmessers mit 90⁰ bezeichnet.

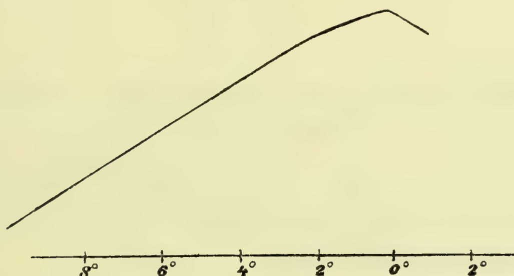
Als Stromquelle benutzte ich ein Daniell'sches Element. Der Widerstand desselben sammt dem der Zuleitungsdrähte betrug etwa 2 S. E.[1]) Die Rinne wurde mit Zinksulphatlösung gefüllt, der Widerstand ihrer beiden, nebeneinander vom Strome durchflossenen Hälften, betrug 250 S. E., der Widerstand einer jeden Rinnenhälfte demnach 500 S. E. Um der oben entwickelten Forderung gemäss einen gegen die genannten Maasse sehr grossen Widerstand im Brückenkreise zu haben, schaltete ich in diesen einen etwa 40000 S. E. betragenden unpolarisirbaren Flüssigkeitswiderstand ein, in Form eines mit Zinksulphatlösung gefüllten Thermometerrohres, das an beiden Enden in weite, mit derselben Flüssigkeit gefüllte Behälter

[1]) Zu diesem Versuche wurde ein Modell benützt, bei welchem die zuleitenden Zinkdrähte direct in die mit Zinklösung gefüllte Rinne eintauchten. Demnach ist der Widerstand in den beiden Canälen *c*, welche die Näpfe mit der Rinne verbinden, ausser Acht gelassen; doch ist derselbe wegen der geringen Länge dieser Canäle jedenfalls unbeträchtlich.

tauchte, in welchen breite Polplatten aus amalgamirtem Zink standen.

Nunmehr veränderte ich zwischen 90° und 0° die Stellung der Brücke von 10 zu 10 Graden und notirte die Ablenkungen des Magnetes. Um eine Curve zu bekommen, trug ich die Azimuthe der Brücke auf die Abscisse, die abgelesenen Scalentheile als Ordinaten auf. Die so erhaltenen Punkte fielen mit der grössten Genauigkeit in eine gerade Linie. Bloss der letzte Punkt, welcher der Stellung bei 0° entspricht, fiel um eine Spur zu tief, aus einem pag. 283 erörterten Grunde. Als ich dann von 2 zu 2 Graden fortschreitend die Gegend zwischen dem 10. und 0. Grad nochmals

Fig. 4.



bestimmte, erhielt ich als Curve der Stromstärken in diesen Breiten die in Fig. 4 dargestellte.

Wie man sieht, senkt sie sich in der Umgebung des 0. Grades ein wenig gegen die Abscisse herab.[1])

Doch ist der Betrag dieser Abweichung so gering, dass der Verlauf der Stromstärken während einer Viertelumdrehung des Hebels auch nach den Angaben des Galvanometers als ein der geraden Linie ausserordentlich stark angenäherter zu betrachten ist.

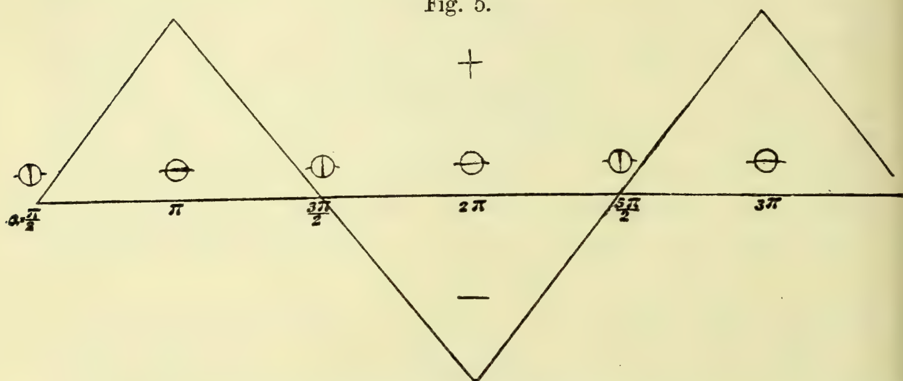
Die einzige, überhaupt wahrnehmbare Abweichung fand übrigens in einer, wie sich bald zeigen wird, für uns ganz gleichgültigen Gegend des Kreises statt. Geht man über 0° hinaus, so erhält man eine zweite der ersten vollkommen symmetrische Linie. Bei 0° hat also die Dichtigkeitscurve unseres Stromes eine Knickung, wie dies übrigens auch der Calcul ergiebt.

---

[1]) Zum richtigen Verständniss dieser Curve ist zu beachten, dass die darunter gezeichnete Abscisse eigentlich soweit herabgerückt werden muss, dass sie erst in ihrem mit 90° zu bezeichnenden Punkte von der geradlinigen Fortsetzung des hier gezeichneten Curvenstückes geschnitten wird.

Um nun von den Schwankungen des Brückenstromes bei gleichmässiger Rotation des Hebels eine anschauliche Vorstellung zu bekommen, benutzen wir das beigedruckte Schema.

Fig. 5.



Die Rotation beginne von einer Stellung des Hebels, bei der $\alpha = 90^0$ ist (siehe den Holzschnitt pag. 280.)

Von da aus erhebt sich der Strom in der Brücke, bis $\alpha = \pi$ ist, und zwar bis zu einer Höhe, welche von den gewählten elektrischen Constanten abhängt und in einer Steilheit, welche von der gewählten Rotationsgeschwindigkeit abhängt.

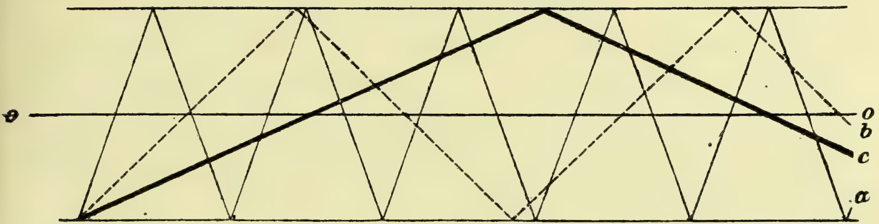
In unserem Schema sind die durchlaufenen Bogenlängen am Apparat von links nach rechts als Abscissen, die zugehörigen Stromstärken als Ordinaten aufgetragen, und zwar ist eine beliebige Stromrichtung als positiv gewählt und die Ordinaten der negativen Ströme sind nach abwärts aufgetragen. Die durchlaufenen Bogenlängen, welche man natürlich, da die Rotation mit constanter Geschwindigkeit geschieht, auch als Zeiten ansehen kann, sind über π hinaus weiter gezählt. Wie man sieht, folgt auf den aufsteigenden Ast in scharfer Knickung angesetzt zwischen π und $\frac{3\pi}{2}$ ein symmetrischer absteigender, der sich von $\frac{3\pi}{2}$ aus in gleicher Steilheit unter die Abscisse fortsetzt; bei 2π findet dieselbe Intensität des Stromes statt wie bei π, aber in entgegengesetzter Richtung.

Die kleinen Schemata über den Hauptpunkten der Abscisse sind wohl ohne weitere Erklärung verständlich.[1])

[1]) Wird der in der Anmerkung pag. 280 erwähnte Commutator eingeschaltet, so giebt der Holzschnitt Fig. 5 ein Bild der Stromschwankungen, sobald man sich die unter der Abscisse gelegenen Theile der Figur um die Abscisse als Axe in die obere Hälfte der Figur hinaufgedreht denkt. Der Commutator verhindert jedesmal die Umkehrung des Brückenstromes dadurch, dass er, so oft dieser im Apparat umgekehrt wird, den Batteriestrom ausserhalb des Apparates auch umkehrt.

Wenn ich nun, indem ich alles andere ungeändert lasse, die Rotationsgeschwindigkeit des Rheonoms verändere, indem ich ein dasselbe treibendes Uhrwerk bald schneller, bald langsamer laufen lasse, so werde ich Stromschwankungen erhalten, die alle dasselbe Intensitätsintervall umfassen, aber sich verschieden schnell vollziehen. Die Dichtigkeitscurven werden sich also zu einander verhalten wie die drei Linien *a*, *b*, *c* der beigedruckten Figur.

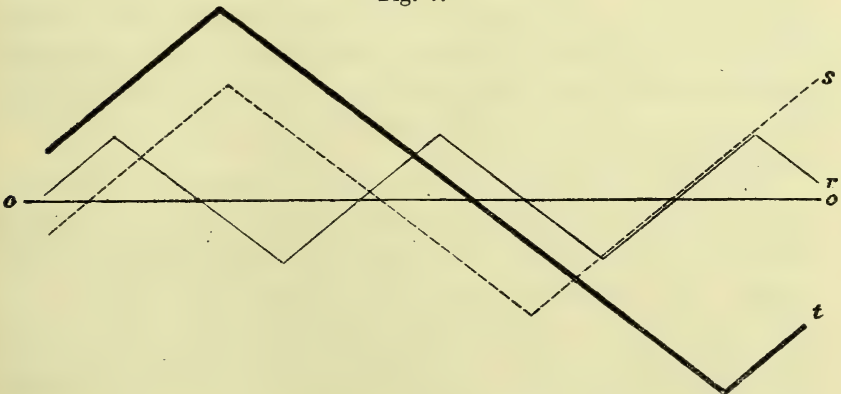
Fig. 6.



Die Quantität der Schwankungen ist constant, ihre Steilheit ändert sich von Fall zu Fall.

Soll hingegen die Steilheit constant bleiben und die Quantität sich ändern, so hat man folgendermassen vorzugehen. Alle Versuche, die Stromstärke im Apparat durch Anbringung von variablen Nebenschliessungen zu beeinflussen, sind verfehlt wegen der riesigen Widerstände im Rheonom. Hingegen wächst eben deshalb die Stromstärke in demselben proportional der Anzahl der vorgespannten Elemente. Will ich die Quantität einer gewissen Stromschwankung verdoppeln, ihre Steilheit ungeändert lassen, so habe ich demnach

Fig. 7.



vermittelst eines „Stromwählers“ die Anzahl der eingespannten Elemente zu verdoppeln und die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rheonoms auf die Hälfte seiner früheren zu bringen. Auf diese

Weise erhält man Stromschwankungen, die sich zu einander verhalten wie die Linien *r, s, t* der beigedruckten Figur.

Ohne für dieses Mal auf eine Schilderung oder auch nur auf eine Aufzählung der vielen verschiedenartigen Versuche, die sich mit dem Ortho-Rheonom anstellen lassen, einzugehen — was besser seiner Zeit gelegentlich der Mittheilung der damit gewonnenen Resultate geschehen wird, will ich hier bloss den allereinfachsten Rheonom-Versuch darstellen, welcher ohne weiters die Richtigkeit des „allgemeinen Gesetzes der Nervenerregung" demonstrirt.

Die Drähte von einer Batterie von etwa fünf Daniell'schen Elementen werden zuerst in einen du Bois-Reymond'schen Schlüssel und von da zu den Zuleitungsklemmen des Rheonoms (*JJ*, Fig. 1) geleitet. Von den Ableitungsklemmen desselben (*EE'*) führen Drähte zu einem Pinselelektrodenpaar, über welches der Nerv eines frischen Nervmuskel-Präparates gebrückt ist.

Man stellt zunächst den Hebel des Rheonoms auf den 90°-Punkt der Theilung und zeigt durch Oeffnen und Schliessen mit dem Schlüssel, dass bei dieser Stellung absolut kein Strom zum Präparat gelangt, indem dieses in Ruhe verharrt. Dreht man aber den Hebel nur um wenige Grade aus der stromlosen Lage heraus, so hat Oeffnen und Schliessen mit dem Schlüssel sofort Zuckungen zur Folge. Lässt man nunmehr den Strom im Rheonom dauernd geschlossen und versetzt dieses in gleichmässige Rotation, so wird man das Präparat in Ruhe bleiben sehen, falls die Umdrehungsgeschwindigkeit nicht gross ist. Auch in jener Phase seiner Entwicklung reizt der Strom nicht, welche der Knickung in der Curve entspricht; und das stand zu erwarten, denn jene Knickung bedeutet wohl eine Unstetigkeit im Differentialquotienten (einen plötzlichen Zeichenwechsel desselben) aber keine Unstetigkeit der Function, welche hier wie überall, bei unendlich kleinen Zuwüchsen des Argumentes, sich um unendlich kleine Grössen ändert.

Der Muskel bleibt also in Ruhe und nun steigert man die Steilheit der Stromschwankung im Nerven, während man ihre Quantität ungeändert lässt, dadurch, dass man die Rotationsgeschwindigkeit steigert und hiebei wird man bald eine Grenze erreichen, bei welcher der Muskel auf jede ganze Umdrehung mit einer oder mit zwei Zuckungen reagirt.[1]) Leicht lässt sich durch geringe Veränderungen in der Rotationsgeschwindigkeit die ausserordentliche Empfindlichkeit des Nerven für die Steilheit und durch andere

[1]) Diese Zuckungen entsprechen ebenfalls nicht den Momenten, in welchen die Dichtigkeitscurven Knickungen haben, wie später gezeigt werden wird.

passende Veränderungen seine grosse Unempfindlichkeit gegen die Quantität der Stromschwankung nachweisen.

Es wird kaum Jemand auch nur diesen ganz rohen Versuch mit dem Rheonom anstellen, ohne dass ihm eine Reihe von höchst eigenthümlichen Reactionen am Muskel auffällt, doch soll die Schilderung der wichtigsten von diesen einer späteren Abhandlung vorbehalten bleiben.

IV. Abhandlung.

Der interpolare Electrotonus.

(Aus dem LXXVII. Bande der Sitzb. der k. Akad. d. Wissensch. III. Abth. Mai-Heft. Jahrg. 1878.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 9. Mai 1878.)

(Hierzu Tafel XIV.)

Der Frage nach dem Verhalten des Stromzuwachses im interpolaren Electrotonus ist aus naheliegenden Gründen durch directe Versuche nicht beizukommen. Die Schwierigkeit liegt bekanntlich darin, dass der Leitungswiderstand der im Kreise des zu messenden Stromes enthaltenen Nerven für extrapolare Strecken zwar nicht in störender Weise in Betracht kommt, wohl aber für interpolare Strecken. Nach welcher von den verschiedenen sich darbietenden Methoden zur Messung der Stärke des Stromes in der interpolaren Strecke man auch verfahren möge, eine genaue Kenntniss des Leitungswiderstandes der eingeschalteten Nervenstrecke, behufs ihrer Ersetzung durch einen indifferenten Leiter von gleichem Widerstande kann keinesfalls entbehrt werden.

Ich glaube nun, durch einen eigenthümlichen Umweg in die Lage gekommen zu sein, die Frage nach dem interpolaren electrotonischen Stromzuwachs einigermassen zu beantworten.

Einer grösseren Durchsichtigkeit der Darstellung zu Liebe werde ich mir erlauben, meine Versuche und Schlüsse in einer von dem wirklichen Gange der Untersuchung abweichenden Reihenfolge vorzubringen.

Nehmen wir an, es sei die Aufgabe gestellt, durch Versuche die Frage zu entscheiden, ob ein Nerv dem electrischen Strome den gleichen oder einen verschiedenen Widerstand bietet, je nachdem der Nerv vom Strome in aufsteigender oder in absteigender Richtung durchflossen wird.

Es ist bekannt, dass du Bois-Reymond diese Frage längst in dem Sinne entschieden hat, dass der Leitungswiderstand der Nerven für beide Stromrichtungen derselbe ist.

Wir aber nehmen eben an, die Frage sei noch nicht entschieden und treffen behufs ihrer experimentellen Beantwortung folgende Versuchsanordnung (Fig. 1).

Der eine Pol der secundären Spirale eines du Bois-Reymond'schen Inductionsapparates war durch einen Draht mit einer unpolarisirbaren Electrode verbunden. Auf dieser Electrode lag das eine Ende eines frisch präparirten Frosch-Ischiadicus. Das andere Ende des Nerven lag auf einer zweiten unpolarisirbaren Electrode und von dieser führte ein Draht zu dem Multiplicationsgewinde eines Galvanometers mit Spiegelablesung; das andere Ende des Gewindes war mit dem zweiten Pole der Inductionsrolle verbunden. Liess man die Unterbrechungsfeder an dem Inductionsapparat spielen, so schloss und öffnete sie den Strom in der primären Spirale eine bestimmte Anzahl von Malen in der Secunde. Es kreisten dann um den Magneten des Galvanometers in rascher Aufeinanderfolge kurze Ströme von regelmässig alternirender Richtung und gleichen absoluten Werthen ihrer Zeitintegrale für den Fall, dass der in die Leitung eingeschaltete Nerv die Electricität in beiden Richtungen mit gleichem Widerstande leitet. In diesem Falle also müssten die gleichen und entgegengesetzten Ströme am Magneten einander aufheben. Besteht jedoch ein Unterschied in dem Leitungswiderstande des Nerven für beide Stromrichtungen, so werden die Zeitintegrale der Ströme in der einen Richtung grösser sein, als die der entgegengesetzten, und es wird eine Ablenkung des Magneten im Sinne derjenigen Ströme erfolgen müssen, welche den Nerven in der Richtung, in der er besser leitet, durchfliessen.

Einige Vorversuche hatten den Zweck, festzustellen, dass meine Apparate den gemachten physikalischen Voraussetzungen entsprachen. Die Masse eines gewöhnlichen aus einem ringförmigen Magneten und einem ziemlich dicken Glasspiegel zusammengesetzten Boussolengehänges ist so beträchtlich, seine Schwingungsdauer bei der aperiodischen Bewegung eine so grosse, dass man erwarten durfte, die sechzig bis hundert gleichen und entgegengesetzten Einzelstösse, welche das Gehänge in jeder Secunde erhielt, würden sich an ihm zu merklicher Ruhe aufheben. Ich schloss nun den Kreis, in dem sich die secundäre Rolle und das Multiplicationsgewinde befanden, ganz metallisch und fand diese Erwartung vollkommen erfüllt. Nur wenn bei geringem Rollenabstande die Intensitäten sehr gross wurden,

begann der Magnet mit sehr grosser Geschwindigkeit und in sehr kleinen Amplituden zu oscilliren, und das Spiegelbild der Scala wurde zu einem lichtgrauen Streifen verwischt, in welchem kein Theilstrich und keine Ziffer mehr zu erkennen war.

War die Intensität der inducirten Ströme eine mässige, so etwa, dass sie auf der Zunge noch kein schmerzhaftes Gefühl erregten, dann blieb das Scalenbild in vollkommener Ruhe.

Nun unterbrach ich diesen metallischen Kreis an einer Stelle, und verband die beiden Enden mit unpolarisirbaren Pinselelectroden. Die beiden Pinsel tauchten in ein Gefäss, welches mit $^3/_4$ procentiger Kochsalzlösung gefüllt war. Auch bei dieser Anordnung blieb das Scalenbild in Ruhe während des Spieles des Wagner'schen Hammers. Das Gleiche wurde beobachtet, wenn das Gefäss mit der Kochsalzlösung entfernt und der Raum zwischen den Pinseln durch einen Streifen durchtränkten Fliesspapiers oder durch ein Stück nassen Zwirnfadens überbrückt wurde. Das Scalenbild blieb in Ruhe, selbst wenn die Intensität so gross war, dass ein einzelner Schliessungs- oder Oeffnungsinductionsstrom einen Ausschlag von zweihundert und mehr Scalentheilen hervorbrachte. Nun wurde der feuchte Zwirnfaden mit einem Stück eines frisch präparirten Froschnerven vertauscht und dieser entweder mit beiden Querschnitten oder mit zwei electromotorisch äquivalenten Punkten seiner natürlichen Oberfläche, also in unwirksamer Anordnung auf die Electroden gelegt. Da es bei richtiger Anfertigung und Verwendung der Pinselelectroden ein Leichtes ist, den Eigenstrom derselben bis auf eine unmerkliche Spur auszulöschen, so bietet auch das Auflegen des Nerven in unwirksamer Anordnung keine Schwierigkeiten. Man legt den Nerven zuerst dem Augenmasse nach symmetrisch auf die Pinsel, beobachtet die Wirkung auf die Boussole und kann nun leicht, falls diese nicht befriedigend klein war, durch zartes Verschieben des einen Nervenendes auf dem Pinsel einen sehr hohen Grad von Unwirksamkeit der Anordnung herstellen.

Ist dies geschehen und tetanisirt man nun den Nerven mit den Wechselströmen des Inductoriums, so wird man — nicht ohne einiges Befremden — sehen, dass ein sehr starker Ausschlag am Galvanometer erfolgt; während also bei Einschaltung aller anderen Leiter erster und zweiter Ordnung in den Verlauf der Wechselströme die Summe ihrer Zeitintegrale Null ist, hat diese Summe bei Einschaltung des lebenden Nerven einen von Null verschiedenen Werth.

Für die Entscheidung der Frage, welche den Ausgangspunkt dieser Untersuchung bildete, nämlich der Frage, ob die Nerven in

beiden Richtungen gleich gut leiten, hat dieses Resultat darum keinen unmittelbaren Werth, weil das Ueberwiegen der Ströme, die in der einen Richtung durch den Nerven gingen, über die entgegengesetzt gerichteten, in einem für beide Richtungen verschiedenen Leitungsvermögen des Nerven seinen Grund allerdings haben kann, aber nicht haben muss. Freilich ist es ganz leicht, diesen letzteren Zweifel soweit aufzuklären, dass man im Hinblick auf sofort vorzutragende Gründe mit Bestimmtheit die Erklärung dieses Versuches aus einem zwiefachen Leitungsvermögen des Nerven verwirft; aber hiemit ist weder die Frage nach einem zwiefachen Leitungsvermögen der Nerven, noch die Frage nach dem Grund der Ablenkung des Magneten beantwortet.

Wäre nämlich ein präsumtives zwiefaches Leitungsvermögen des Nerven nach beiden Richtungen der Grund der Ablenkung, so müsste der Sinn der Ablenkung verkehrt werden, wenn man, alles Uebrige ungeändert lassend, den Nerven auf den Pinseln umkehren würde.

Hebt man aber den Nerven von den Electroden weg und legt ihn nunmehr so auf, dass das Ende desselben, welches früher auf dem einen Pinsel lag, jetzt auf dem anderen liegt, und umgekehrt, so bemerkt man, dass dies gar keinen Einfluss auf den Ausschlag am Galvanometer hat. Ich habe auch den Nerven so auf die Electroden gelegt, dass er in Gestalt eines Hufeisens gebogen, den einen Pinsel mit Punkten nahe seinen Enden, den anderen Pinsel mit seiner grössten Krümmung berührte. Hiebei zeigt allerdings das Galvanometer den Nervenstrom an, und man muss, eben um die starke Anordnung zu vermeiden, den Nerven nicht mit den Querschnitten dem einen Pinsel anlegen. Man kann entweder den Nervenstrom compensiren, oder einfacher die durch ihn abgelenkte Lage des Magneten als Gleichgewichtslage ansehen und nun den Nerven tetanisiren. Wäre ein für die beiden Richtungen verschiedenes Leitungsvermögen des Nerven der Grund der früher beobachteten Ablenkung gewesen, so müsste jetzt keine Ablenkung erfolgen; es erfolgt aber eine Ablenkung und zwar im selben Sinne wie früher, nur etwas stärker wegen des verminderten Gesammtwiderstandes. Die nächste Variation des Versuches bestand in der Einschaltung der Helmholtz'schen Vorrichtung am Neef'schen Hammer. Hiebei wurde nun kein Ausschlag am Galvanometer beobachtet. Dieses Ergebniss entscheidet die Frage nach dem zwiefachen Leitungsvermögen der Nerven endgiltig verneinend, und liefert zugleich einen Ausgangspunkt für die Erklärung der früheren Versuche.

Wenn man nicht der Helmholtz'schen Vorrichtung, sondern des Wagner'schen Hammers zur Herstellung der Wechselströme sich bedient, so ist bekanntlich die Curve, welche die Intensität des inducirten Stromes als Function der Zeit darstellt, eine andere für den Schliessungsinductionsstrom und eine andere für den Oeffnungsinductionsstrom. Die Quadraturen dieser beiden Curven über die ganze Zeit, während welcher ein Strom besteht, sind einander aber gleich und entgegengesetzt. Von der Summe dieser Quadraturen hängt der Ausschlag am Galvanometer ab, solange beliebige Leiter im Stromkreise sind; darum bleibt auch bei unseren Vorversuchen das Scalenbild in Ruhe. Befindet sich aber ein Stück eines lebenden Nerven als Leiter im Stromkreise, so muss offenbar neben der Quadratur der Curve auch noch ihre Gestalt, vor allem die Lage und Höhe ihres Maximums für den Effect am Magneten massgebend werden. Denn macht man durch Anwendung der Helmholtz'schen Vorrichtung auch noch die Gestalten der beiden Curven einander gleich, so tritt selbst bei Einschaltung eines Nerven kein Ausschlag am Galvanometer ein.

Nun hängt aber ganz allgemein die Wirkung eines Stromes auf einen Magneten nur von dem Zeitintegral des Stromes ab, wenn die Dauer des Stromes gegen die Schwingungsdauer des Magneten klein ist, wie in unserem Falle.

Es muss sonach die Wirkung des lebenden Nerven in unserem Falle darin bestehen, dass er auf irgend eine Weise die Ungleichheit der Gestalten der beiden Curven in eine Ungleichheit ihrer von vorn herein einander gleichen Quadraturen verwandelt.

Bei der Menge der bekannten Relationen zwischen dem Nervenprincip und der Electricität liegt die Schwierigkeit weniger in der Auffindung einer Möglichkeit, wie diese Verwandlung stattfinden könnte, als in der Wahl zwischen den verschiedenen Möglichkeiten, die sich sofort darbieten.

Die Erklärungsprincipien, welche ich berücksichtigt habe, sind die folgenden:

1. Nach dem Grundsatze der Erhaltung der Energie muss mit der Erregung des Nerven durch den electrischen Strom eine Schwächung dieses Stromes stattfinden. Da nun die Schliessungs- und Oeffnungsinductionsströme wegen der Verschiedenheit ihrer Intensitätscurven den Nerven verschieden stark erregen, müssen sie beim Durchgang durch den Nerven in verschiedenem Masse geschwächt werden. Es wird also durch die Einschaltung des Nerven die Gleichheit der Quadraturen der beiden Curven gestört.

2. Bei der Erregung des Nerven durch irgend ein Mittel, also auch durch Electricität, werden electromotorische Vorgänge in ihm erzeugt, die, wellenförmig an ihm ablaufend, unter dem Namen der negativen Schwankung bekannt sind, und die in ihrer Intensität von der Intensität des Reizes abhängen. Die aus jenen Vorgängen resultirenden Intensitäten sind also für die beiden Arten von Inductionsströmen verschieden und könnten eventuell, da ihre Quadraturen sich algebraisch zu denen der Inductionsströme addiren, dieselben ungleich machen.

3. Beim Durchfliessen eines electrischen Stromes durch einen Nerven wird dieser polarisirt, das heisst: es werden die für je zwei Punkte des Nerven vorhandenen Potentialunterschiede verändert. Sind irgend zwei Punkte des Nerven durch einen ableitenden Bogen miteinander verbunden, so wird sich in diesem ein Polarisationsstrom (Electrotonusstrom) bemerklich machen. Seine Richtung hängt von der des polarisirenden Stromes ab, seine Stärke hängt, so viel man weiss, von sämmtlichen Bestimmungsstücken des polarisirenden Stromes ab. Die Quadraturen der Inductionsströme können also dadurch, dass die möglicherweise ungleichen Quadraturen der Polarisationsströme sich zu ihnen addiren, ungleich werden.

Bei der Betrachtung von Electrotonusströmen in der interpolaren Strecke muss man stets bedenken, dass hier der Stromzuwachs nicht so rein zu Tage treten kann, wie in extrapolaren Strecken; alle Veränderungen, welche der polarisirende Strom selbst erleidet, werden sich in die Beobachtung mit einmischen; die Summe dieser Veränderungen und überhaupt aller stationären electrischen Wirkungen, welche in der interpolaren Strecke auftreten, kann man als electrischen Strom von bestimmter Richtung und Stärke auffassen, welcher sich zu dem zwischen den abgeleiteten Stellen von vornherein circulirenden Ruhestrome des Nerven algebraisch addirt. Fasst man den Electrotonus in dieser Weise auf, als eine in einem bestimmten Nervenstücke auftretende stationäre electrische Wirkung, ausgedrückt durch einen Strom von bestimmter Richtung und Stärke, so drückt man damit einfach eine beobachtete Thatsache durch ein Wort aus, ohne die Deutung der Thatsache zu präjudiciren. Es ist dies auch die ursprüngliche Bedeutung des Wortes Electrotonus, welche ihm von dem Entdecker dieses ganzen Gebietes von Erscheinungen beigeilegt wurde. Bekanntlich sind über die Ursachen des Elektrotonus sehr verschiedene Vermuthungen ausgesprochen worden. Auf diese Differenzen braucht hier einstweilen nicht eingegangen zu werden, wenn wir den Worten Elektrotonus

und Elektrotonusstrom keine andere, als die eben präcisirte Bedeutung beilegen.

Bevor ich zur Discussion dieser verschiedenen Ansichten übergehe, muss ich zwei Versuchsresultate, welche hiefür von Wichtigkeit sind, mittheilen.

a) (Fig. 1.) Befinden sich die secundäre Spirale, der Nerv und das Galvanometer in einem einzigen Kreise, und lässt man die Unterbrechungsfeder des Inductoriums spielen, so erfolgt eine Ablenkung der Scala im Sinne der Oeffnungsströme. Verwechselt man die Richtungen der Oeffnungs- und Schliessungsströme im Kreise durch Vertauschen der Pole an der primären Spirale, so wird die Richtung des Ausschlages der Scala verkehrt, seine Grösse bleibt dieselbe. Der Ausschlag, den ein einzelner Oeffnungsstrom hervorbringt, ist grösser als der Ausschlag, den ein einzelner Schliessungsstrom hervorbringt[1]).

b) (Fig. 2.) Befinden sich die secundäre Spirale und ein Stück des Nerven in einem Kreise, ein benachbartes Stück des Nerven und das Galvanometer in einem zweiten Kreise und lässt man die Unterbrechungsfeder spielen, so wird die Scala im Sinne der Schliessungsströme abgelenkt, also im selben Sinne, wie wenn im ersten Kreise statt der Wechselströme ein constanter Strom von der Richtung der Schliessungsströme vorhanden wäre. Anders ausgedrückt heisst das: Die elektrotonisirende Wirkung der Schliessungsinductionsströme ist stärker, als die der Oeffnungsinductionsströme[2]). Gehen wir nun an die Kritik der oben vorgebrachten Erklärungsversuche.

ad 1. Würde bei der Reizung des Nerven durch den elektrischen Strom ein Theil der Energie des Stromes direct in Nervenenergie verwandelt, so müssten die Oeffnungsströme wegen ihrer stärkeren physiologischen Wirkung mehr geschwächt werden, als die Schliessungsströme, und die Ablenkung der Scala müsste bei dem Versuche *a)* im Sinne der Schliessungsströme erfolgen, während sie in Wirklichkeit im Sinne der Oeffnungsströme erfolgt.

ad 2. Die Wellen der negativen Schwankung pflanzen sich bekanntlich nach beiden Richtungen von der gereizten Stelle des Nerven aus in diesem symmetrisch fort (Bernstein), und es ist demnach eine assymmetrische Wirkung derselben nicht zu erwarten; ferner wissen wir, dass die Grösse der negativen Schwankung der Grösse des ruhenden Nervenstromes proportional ist, also bei Ableitung von elektromotorisch identischen Punkten gleich Null (du

[1]) [2]) Siehe die Versuche im Anhang.

Bois-Reymond); ausserdem ist es gewiss, dass die Höhe der Schwankungswelle während des Verlaufes durch den Nerven nicht stark abnimmt, ja es ist wahrscheinlich, dass sie sich gleich bleibt, während in unserem Versuche *b)* der zu beobachtende Ausschlag mit zunehmender Entfernung der abgeleiteten von der gereizten Stelle rasch abnahm; endlich ist das absolute Vorzeichen des Stromes der negativen Schwankung unabhängig von dem Vorzeichen des erregenden Stromes, während unsere Wirkung sich umkehrte, wenn die Schliessungs- und Oeffnungsströme ihre Vorzeichen vertauschten.

ad 3. Die beiden bisher betrachteten Erklärungsprincipien sind also offenbar nicht anwendbar; nun kennen wir aber ausser der Erregung, der negativen Schwankung und dem Elektrotonus keine Wirkung von Strömen auf Nerven, und sind also genöthigt, die uns beschäftigende Erscheinung als einen Fall des Elektrotonus anzusehen. Als solcher muss sie übrigens nach der Begriffsbestimmung von Elektrotonus angesehen werden. Denn sie ist eine in Folge elektrischer Ströme am Nerven auftretende Veränderung, welche selbst den Charakter eines elektrischen Stromes hat, das heisst, welche sich durch einen elektrischen Strom ersetzen oder ausdrücken lässt. Es frägt sich nur noch, ob sie stationär ist, das heisst, ob sie mit dem erregenden Strom dauert, oder bloss im ersten Moment der Stromschliessung besteht. Bis jetzt kennen wir nur e i n e nicht stationäre elektrische Wirkung des Stromes am Nerven, die negative Schwankung, welche bereits ausgeschlossen wurde; aber es kann einstweilen die Möglichkeit nicht bestritten werden, dass die negative Schwankung hier noch in anderer Weise mit ins Spiel komme, wovon später noch die Rede sein wird. Meine Versuche mussten ja ihrer Natur nach mit Inductionsströmen gemacht werden, welche Momentan-Ströme sind, und also nicht geeignet um die Frage zu entscheiden, ob irgend eine Wirkung, die sie hervorbringen, ihrer Natur nach momentan ist, oder ob sie eben so lange dauert, wie der erregende Strom.

Fassen wir die ganze Erscheinung als Elektrotonus auf, so folgt hier unmittelbar der Satz, dass in der interpolaren Strecke der Elektrotonusstrom dem elektrotonisirenden Strome entgegenfliesst.

Die Schliessungsinductionsströme machen, wie wir gesehen, einen stärkeren Elektrotonus als die Oeffnungsströme, darum tritt in extrapolaren Strecken zum Nervenstrome ein den Schliessungsschlägen gleichgerichteter Zuwachs, wenn man den Nerven mit den Strömen des du Bois-Reymond'schen Schlittens tetanisirt. In der interpolaren Strecke jedoch ist der Ausschlag des Magneten so, als hätten

die Oeffnungsströme die Oberhand. Da nun die Quadraturen der Schliessungs- und Oeffnungsströme, welche ja bei dieser Anordnung auch den Magneten umkreisen, einander von vornherein gleich sind; da ferner die Schliessungsströme die grössere elektrotonisirende Wirkung haben, und da der Gesammteffect ein Ueberwiegen der Oeffnungsströme ist, so muss die elektrotonisirende Wirkung der Schliessungsströme in einer Unterstützung der Wirkung der Oeffnungsströme auf den Magneten bestehen und umgekehrt, das heisst: **die interpolaren Elektrotonusströme sind den polarisirenden Strömen entgegengesetzt gerichtet**; sie stellen Verminderungen der Quadraturen der Inductionsströme dar. Auf diesen letzteren Ausdruck lege ich ein besonderes Gewicht, weil hierin eine Einschränkung liegt. Eine Unterscheidung zwischen eigentlichem Elektrotonus und der „Modification" genannten Nachwirkung des Stromes ist hier aufgegeben, und unter Elektrotonusstrom immer das ganze Zeitintegral des Stromzuwachses verstanden.

Der Umstand, dass die Schliessungsströme stärker elektrotonisiren, die Oeffnungsströme stärker erregen, hat nichts wunderbares, nicht einmal von dem Standpunkte jener Theorie aus, welche die directen Ursachen der Nervenerregung im Entstehen des Katelektrotonus und im Verschwinden des Anelektrotonus sieht. Denn jene Theorie behauptet ja nicht, dass die Grösse der Erregung dem Zeitintegral des Elektrotonus proportional sei, oder überhaupt von ihm abhänge; es liegt viel näher anzunehmen, dass die verhältnissmässige Geschwindigkeit der Entwickelung des Elektrotonus im Nerven für den Reizeffect massgebend ist, und ferner, dass die Curve der Entwicklung des Elektrotonus im Nerven in naher Beziehung steht zur Curve der Stromdichten in ihm. So würde also der scheinbare Widerspruch sich dahin auflösen, dass der Schliessungsinductions-Elektrotonus zwar das grössere Zeitintegral hat, aber weniger stark erregt, wegen seiner langsameren Entwickelung im Nerven.

ANHANG.

(Versuche; Beziehung auf Theorien.)

Die im Versuche *a)* geschilderte Ablenkung der Scala beim Tetanisiren ist selbst bei Anwendung sehr mässiger Stromstärken oft so gross, dass die Scala ganz aus dem Gesichtsfelde verschwindet. Bei Einschaltung der Helmholtz'schen Vorrichtung findet entweder gar keine Ablenkung statt, oder die Ablenkung ist minimal und im

verkehrten Sinne, das heisst also, im Sinne der Schliessungsströme. Dies ist vollständig erklärlich aus dem Einflusse, den die Helmholtz'sche Unterbrechungsvorrichtung auf den zeitlichen Verlauf der beiden Inductionsströme nimmt; die Curve der Schliessungsströme wird hiebei die steilere, wenn auch der Unterschied im Ganzen nicht gross ist. Dem entsprechend habe ich meistens bei Anwendung der Helmholtz'schen Vorrichtung keinen Ausschlag bekommen. Einmal gab die Tetanisirung mit dem Wagner'schen Unterbrecher eine so grosse Ablenkung, dass die Scala, die in der Gleichgewichtslage mit dem Teilstriche 524 einstand, schon in den ersten Secunden der Reizung über 0 aus dem Gesichtsfelde geflohen war. Nun wurde die Helmholtz'sche Vorrichtung eingeschaltet, und die Scala ging von 491 auf 497. Grösser waren die mit der Helmholtz'schen Vorrichtung zu erreichenden Ausschläge, wenn solche überhaupt auftraten, nie.

Um von dem Ueberwiegen der Oeffnungsströme über die Schliessungsströme bei der Anordnung des Versuches *a)* eine genauere Vorstellung zu gewinnen, verliess ich die Methode des Tetanisirens und mass die Wirkung einzelner Inductionsströme, welche durch den Nerven gegangen waren, auf die Boussole. Die Wirkung der Oeffnungsschläge überwog die der Schliessungsschläge um 10—50 %. Ich will als Beleg hiefür zwei Versuche mittheilen, welche etwa diesen Extremen entsprechen. Die vor das Zeichen des Schliessungsinductionsstromes *(S)* gesetzten Vorzeichen beziehen sich auf die Stromrichtung; der auf einen Schliessungsstrom folgende Oeffnungsstrom *(Ö)* ist ohne Vorzeichen gelassen, da er natürlich das entgegengesetzte von dem vorhergehenden hat.

1. Der Nerv lag mit beiden Querschnitten den Pinseln an. Seine Länge = 12 Mm.

Strom des Nerven und der Elektroden = 0.

Reizung	Ablenkung
+ S	+ 67
Ö	— 73
— S	— 67
Ö	+ 73.
Ströme verstärkt	
+ S	+ 95
Ö	— 105
— S	— 95
Ö	+ 106.

2. Ein anderer Nerv lag mit zwei Punkten seiner natürlichen Oberfläche möglichst symmetrisch auf.

Strom des Nerven und der Elektroden = — 6 Sc.

Reizung	Ablenkung
— S	— 69
Ö	+ 126
— S	— 87
Ö	+ 130
— S	— 83
Ö	+ 138
+ S	+ 93
Ö	— 141
+ S	+ 93
Ö	— 141
+ S	+ 92
Ö	— 145.

Der Nerv wurde nun stark zwischen den Fingern gerieben, dann gewaschen und wieder über die Elektroden gelegt.

Reizung	Ablenkung
— S	— 227
Ö	+ 226
— S	— 231
Ö	+ 229
+ S	+ 228
Ö	— 224
+ S	+ 222
Ö	— 225.

Er wirkte also als indifferenter Leiter.

Die Zahlen in diesem Versuche stimmen recht gut; die kleinen Unterschiede, die vorkommen, rühren von Veränderungen der Gleichgewichtslage des Magneten während der lange dauernden Schwingungen her, da dieser Versuch unter sehr ungünstigen Verhältnissen gemacht wurde. Oefters habe ich bei diesen Versuchen den Nerven zwischen den Elektroden zerschnitten und die Enden wieder zusammengelegt. Dies beeinträchtigt die Erscheinungen am Galvanometer nicht wesentlich. Man kann den Nerven in mehrere Stücke schneiden und diese in beliebiger Richtung und Reihenfolge aneinanderlegen, ja man kann aus dem Nerven ein förmliches Haché bereiten, und dieses zwischen die Elektroden bringen und tetanisiren;

so lange noch nicht alle Theile desselben ganz abgestorben sind, wird man immer einen Ausschlag im Sinne der Oeffnungsströme bekommen. Dies ist nach der im Text gegebenen Erklärung vollkommen selbstverständlich.

Ueber die elektrotonisirende Wirkung der Inductionsströme ist in du Bois-Reymond's Untersuchungen, II. Bd., I. Abth., p. 398—424 eine ausführliche Abhandlung enthalten, die natürlich hier nicht ganz referirt werden kann. Nachdem du Bois-Reymond in dieser Abhandlung auf Grund einer Reihe von Betrachtungen und Versuchen es für wahrscheinlich erklärt hat, dass, wenn überhaupt ein Unterschied in der elektrotonisirenden Wirkung von Schliessungs- und Oeffnungsströmen stattfindet, dieser Unterschied zu Gunsten der ersteren sei, theilt er das Resultat seiner direct zur Feststellung dieses Punktes unternommenen Versuche mit folgenden Worten mit: „Der Erfolg lehrte, dass noch weit über solche Stromstärken hinaus, wie wir sie zum Tetanisiren brauchen, nämlich wenn schon die Oeffnungsströme als mässige Schläge im Handgelenke empfunden werden, die beiden Reihen von Strömen sich vollständig das Gleichgewicht halten. Allmälig tritt aber doch ein Unterschied zu Gunsten der Schliessungsschläge hervor, der sich bei äusserst starken Strömen zuletzt wirklich zu einem beträchtlichen Uebergewicht ausbildet."

Meine eigenen Versuche über diesen Gegenstand haben mich wohl ganz im Allgemeinen zu demselben Resultate geführt, doch muss ich es als einen bemerkenswerthen Unterschied den Angaben du Bois-Reymond's gegenüber hervorheben, dass ich nicht nur bei solchen enormen Stromstärken, wie er sie anwenden musste, sondern bei allen möglichen Stromstärken, bei denen überhaupt noch ein Effect zu erwarten war, diesen im Sinne einer überwiegenden elektrotonisirenden Wirkung der Schliessungsinductionsströme gefunden habe. So zum Beispiel lenkte die Differenz der Elektrotonusströme die Scala noch um mehr als 50 Theilstriche im Sinne der Schliessungsströme bei folgender Anordnung ab. Im primären Kreis zwei Daniell. Rollenabstand an einem mittleren Schlittenapparat 7 Centimeter; die tetanisirenden Ströme der secundären Spirale dem Nerven durch Pinselelektroden zugeführt, dann eine 2 Mm. lange Strecke des Nerven frei, dann begannen die zum Galvanometer ableitenden Pinselelektroden dem Nerven anzuliegen. Die Scala wurde durch den Elektroden- und ruhenden Nervenstrom um einen Theilstrich abgelenkt.

Diese tetanisirenden Ströme wurden bei Berührung der beiden zuführenden Pinsel mit beiden Zeigefingerspitzen nur als Kribbeln

in der Haut derselben empfunden. Aber selbst bei einer Rollendistanz von 15 Centimetern, wo die Empfindung an der Haut kaum mehr wahrgenommen werden konnte, bewirkte das Ueberwiegen der Schliessungsströme eine Ablenkung der Scala um mehrere Theilstriche.

Dass bei allen diesen Versuchen die bekannten Controlversuche angestellt wurden, welche wegen der Ausschliessung von Fehlern durch Stromschleifen u. s. w. nothwendig sind, versteht sich von selbst. Die extrapolar elektrotonisirende Wirkung eines einzelnen Inductionsschlages ist überhaupt äusserst gering, doch habe ich auch hier zu wiederholten Malen das Ueberwiegen der Schliessungsströme über die Oeffnungsströme mit vollkommener Deutlichkeit beobachten können. Da es sich hiebei um die Feststellung von Ablenkungen handelt, die höchstens einen ganzen Scalentheil betragen, so muss man diese Versuche in der grössten Ruhe, am besten bei Nacht, anstellen, und es darf der Magnet durchaus keinen störenden Schwankungen unterworfen sein; zugleich aber muss die Empfindlichkeit des Instrumentes auf's Aeusserste getrieben sein.

Ich bin mir der mannigfaltigen Beziehungen des hier aufgestellten Satzes zu den verschiedenen nervenphysiologischen Theorien und Hypothesen wohl bewusst, finde mich aber durchaus zu keiner Erörterung aller dieser Beziehungen veranlasst, da sich sonst an meine kleine thatsächliche Mittheilung eine grosse historische Abhandlung, ja fast ein kritisches Lehrbuch der Nervenphysiologie anschliessen müsste.

Bloss zwei sich gewissermassen aufdrängende Bemerkungen können nicht wohl unterdrückt werden. Sie beziehen sich auf die Stellung der mitgetheilten Thatsachen zu den beiden wichtigsten Hypothesen über den Elektrotonus.

Die Hypothese von der säulenartigen Anordnung der elektromotorischen Molekeln eignet sich in der Form, in welcher sie von ihrem Urheber dargestellt wurde, ohne Weiteres nicht zur Erklärung der mitgetheilten Versuche. Denn nach dieser Hypothese muss der Elektrotonusstrom in der interpolaren Strecke dem in den extrapolaren Strecken und dem erregenden Strome gleich gerichtet sein.

Doch sehe ich zwei Wege, auf denen vielleicht von der Molekularhypothese aus zur Erklärung meines Hauptversuches zu gelangen wäre.

Erstens ist es denkbar, dass der erregende Strom in der interpolaren Strecke die Hälften der Molekeln, welche in den extrapolaren Strecken gedreht werden, ungedreht lässt, und durch Drehung der anderen Hälften eine Säule von entgegengesetzter Stromrichtung herstellt, wie in den extrapolaren Strecken. Eine solche Vorstellung stösst nicht nur auf gar keine Schwierigkeiten, sondern sie hat sogar viel Plausibles.

Zweitens aber ist es denkbar, dass zwar — ganz nach der ursprünglichen Vorstellung — die interpolaren und extrapolaren Molekeln gleichsinnig gedreht werden, dass aber behufs der Herstellung und Erhaltung dieses gedrehten Zustandes der erregende Strom um einen Betrag geschwächt wird, der grösser ist als der Betrag des Stromes, welcher aus diesem gedrehten Zustande der in seiner Bahn liegenden Molekeln entspringt. Es ist ja möglich, dass bei der Drehung der Molekeln immer auch Arbeit in anderer Form geleistet wird und werden muss, die dann nicht wieder als Elektricität erscheint. Dass sich aus einer solchen Annahme mein Versuch erklären liesse, sieht man sofort ein.

Die andere Hypothese über den Elektrotonus erklärt diesen bekanntlich aus den eigenthümlichen Strömungsverhältnissen in einem Leiter, welcher aus einer polarisirbaren Combination von einem gut leitenden Kern in einer schlecht leitenden Hülle besteht.

Die Folgerung eines dem erregenden Strome entgegengesetzten Elektrotonusstromes aus dieser Theorie hat weiter keine Schwierigkeiten.

Da aber der Begründer dieser Hypothese ein ganz ausserordentliches Gewicht auf die Uebereinstimmung der elektrotonischen Erscheinungen am Nerven mit den Erscheinungen legt, welche man an einem mit Zinklösung gefüllten Rohre beobachtet, durch dessen Axe ein Platindraht gespannt ist, und da er diese Anordnung sammt den aus ihr folgenden Strömungsverhältnissen so vollständig mit dem Nerven und dessen elektrotonischen Erscheinungen identificirt, so habe ich meine Versuche an einem solchen Schema wiederholt, aber mit einem Erfolge, welcher den Ergebnissen meiner Versuche am lebenden Nerven in allen Punkten widersprach oder entgegengesetzt war.

Ein mit Zinkvitriollösung gefülltes Glasrohr, in dessen Axe ein Platindraht ausgespannt war, hatte zwei Ansatzröhren, in welche die Flüssigkeit hineinragte und in welche von oben je ein amalgamirter

Zinkdraht eintauchte. Mittelst dieser Zinkdrähte nahm ich die Flüssigkeit der Anordnung in einen secundären Kreis auf, in welchem sich auch die Spiegelboussole befand — Anordnung des Versuches *a)*. Nun „reizte“ ich mit einzelnen Schliessungs- und Oeffnungsinductionsströmen und erhielt Folgendes:

Reizung	Ablenkung
+ S	+ 60
Ö	— 61
+ S	+ 62
Ö	— 61.

Liess ich nun die Unterbrechungsfeder spielen und „tetanisirte“ meine Vorrichtung, so erhielt ich gar keine Ablenkung. Ein an Stelle des Schema's im Kreise befindlicher lebender Nerv hätte die Scala aus dem Gesichtsfelde geworfen.

Zur Prüfung des Versuches *b)* bediente ich mich eines ähnlichen Rohres mit vier seitlichen Ansätzen. Die beiden ersten Zinkelectroden waren mit den Polen einer secundären Rolle, die beiden letzten mit den Enden des Multiplicationsgewindes der Boussole verbunden. Zunächst wendete ich wieder einzelne Inductionsströme an:

Reizung	Ablenkung
+ S	+ 1
Ö	— 4
+ S	+ 1
Ö	— 4
+ S	+ 1
Ö	— 4.

Es überwog also die „elektrotonisirende“ Wirkung der Oeffnungsströme, entgegengesetzt wie beim Nerven.

Als ich dann die Feder spielen liess und „tetanisirte“, erhielt ich eine Ablenkung im Sinne der Oeffnungsströme, während die analoge Ablenkung beim Nerven im Sinne der Schliessungsströme erfolgt.

Was nun die pag. 297 angedeutete Möglichkeit einer Herbeiziehung der negativen Schwankung zur Erklärung meines Versuches anlangt, so war damit die im Sinne der eben besprochenen Hypothese gelegene Meinung ins Auge gefasst, dass die Welle der negativen Schwankung wachse, wenn sie zu positiveren, abfalle, wenn sie zu negativeren Stellen der Nerven läuft. Aus dieser Annahme lässt

sich allerdings ein Effect am Galvanometer im Sinne meines Versuches ableiten[1]), wenn man einige andere, nichts weniger als bewiesene Voraussetzungen macht. Da aber selbst dann aus dieser Annahme so enorme Ausschläge, wie sie in meinem Versuche eintreten, keineswegs zu erklären wären, so bin ich lieber auf eine detaillirte Erwägung dieses Erklärungsversuches gar nicht eingegangen.

Absichtlich habe ich dasjenige, was ich über die Beziehung meiner Versuche auf die gangbaren Hypothesen des Elektrotonus zu sagen hatte, in den Anhang gesetzt; ich wünsche nämlich meine Vermuthungen möglichst scharf zu trennen von den im ersten Theile vorgebrachten Thatsachen und den aus diesen gezogenen Schlüssen.

---

[1]) Vergl. besonders L. Hermann: Das galvanische Verhalten einer durchflossenen Nervenstrecke während der Errregung. Pflüg. Archiv VI., 560—567.

V. Abhandlung.

Die Theorie des Elektrotonus.

(Aus dem LXXVIII. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. III. Abth. Dec.-Heft Jahrg. 1878.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 19. December 1878.)

(Hierzu Tafel XV—XVI.)

Wenn wir unter der Theorie eines Vorganges seine Erklärung aus der Natur der Körper verstehen, an denen er sich abspielt, so muss der Physiologie jede Theorie eines beliebigen Vorganges am lebenden Nerven von der grössten Wichtigkeit sein. Denn selbst wenn der betreffende Vorgang — wie zum Beispiel das Auftreten des Elektrotonusstromes — in keinem unmittelbar wahrnehmbaren Zusammenhange steht mit jenen Verrichtungen des Nerven, welche ihm im Laufe des Lebens als specifische zukommen, so ist doch jedenfalls die Natur und Beschaffenheit des Nerven nur eine, und es ist gleichgiltig, ob wir diese Natur des Nerven durch das Studium seiner physiologischen Verrichtungen im engern Sinne erkennen, oder ob wir sie durch die Analyse von Erscheinungen klar machen, die nur unter Bedingungen auftreten, welchen der Nerv bei seiner normalen Verwendung im lebenden Organismus nicht — oder wenigstens nicht mit Bestimmtheit — unterworfen ist. Aus diesem Gesichtspunkte müssen die vielen complicirten Untersuchungen der Nerven-Physik beurtheilt werden, welche sich oft soweit von dem allgemeinen Ziele physiologischer Bestrebungen, nämlich von der Erklärung der Vorgänge an lebenden Organismen zu entfernen scheinen, dass sie sich einem oberflächlichen Urtheile als müssige Speculation, als Bewältigung von Schwierigkeiten darstellen, die nicht die Natur, sondern der Forscher selbst aufgethürmt hat.

Von diesem Gesichtspunkte aus will auch die vorliegende Abhandlung betrachtet werden. Obwohl sie den Nerven ziemlich verwickelten Versuchsbedingungen unterwirft, lassen die mitzutheilenden

Beobachtungen doch Schlüsse auf die allgemeine Natur des Nerven zu, welche wegen der Wichtigkeit des Gegenstandes vielleicht der Aufmerksamkeit der Physiologen nicht ganz unwerth sind.

Das Grundphänomen, an welches diese Untersuchung anknüpft, ist das von E. du Bois-Reymond entdeckte Phänomen des Elektotonusstromes am Nerven. Es besteht bekanntlich darin, dass an einem Nerven, von dem eine Strecke von einem galvanischen Strome durchflossen wird, elektromotorische Eigenschaften auftreten, die ihm nur so lange zukommen, als eben jener Strom ihn durchfliesst. Den galvanischen Strom, der diese elektromotorischen Eigenschaften im Nerven entwickelt, nennt man nach du Bois-Reymond den erregenden Strom. Die Strecke des Nerven, die er durchfliesst, nennt man nach demselben Autor die durchflossene Strecke. Verbindet man zwei Punkte des Nerven, die auf derselben Seite von der durchflossenen Strecke liegen, mit einander leitend, so bewegt sich in dem verbindenden Bogen ein Strom, der gleichgerichtet ist mit dem Strome im Kreise der durchflossenen Strecke; man nennt ihn Elektrotonusstrom. Der Elektrotonusstrom addirt sich algebraisch zu dem in seinem Kreise ohnedies wegen der bekannten elektromotorischen Eigenschaften des Nerven vorhandenen, ruhenden Nervenstrome. Er ist im Allgemeinen um so stärker, je länger die durchflossene und je länger die abgeleitete Strecke ist, und je näher beide Strecken aneinander liegen.

Von dieser merkwürdigen Erscheinung wurden zwei gänzlich von einander verschiedene Erklärungen gegeben. Die eine von dem Entdecker des ganzen Gebietes, von E. du Bois-Reymond, die andere von Grünhagen und später in modificirter Form von L. Hermann.[1])

Von diesen beiden Erklärungen werde ich nur dasjenige hier berücksichtigen, was zum Verständniss des Folgenden nothwendig ist, behufs genauerer Information müssen die Orginalarbeiten studirt werden.

Die Erklärung du Bois-Reymond's nimmt an, dass der erregende Strom elektromotorische, von vornherein im Nerven vorhandene Molekeln so orientire, dass diese im Verlaufe des ganzen Nerven ihre positiven Pole nach der einen Seite, ihre negativen Pole nach der entgegengesetzten Seite wenden, dass somit unter dem Einflusse des erregenden Stromes sich der Nerv zu einem der Volta'schen Säule vergleichbaren Gebilde umwandle, „säulenartig

[1]) Zwischen den beiden letztgenannten Autoren ist über eben diesen Gegenstand ein Streit ausgebrochen, auf dessen Details ich aus Gründen nicht näher eingehe, welche sich im Verlaufe dieser Abhandlung von selbst ergeben werden.

polarisirt" werde, am stärksten in der Nähe der durchflossenen Strecke und von da nach beiden Seiten hin immer schwächer mit zunehmender Entfernung von der durchflossenen Strecke. (Ueber die in der durchflossenen Strecke selbst eintretenden Verhältnisse ist die IV. Abhandlung dieser Reihe von Untersuchungen nachzulesen.) Diese Erklärung wird durch Fig. 1 veranschaulicht. In ihr bedeutet *E* die Erzeugungsstätte des erregenden Stromes, *a* und *k* sind seine Eintritts- und Austrittsstelle an den Enden der durchflossenen Strecke. Ferner ist durch *a' g k'* ein dem Nerven an den beiden Punkten *a'* und *k'* anliegender, das Galvanometer *g* enthaltender Bogen angedeutet, in welchem durch Pfeile die Richtung des in ihm circulirenden Elektrotonusstromes angezeigt ist. Innerhalb des Nerven ist eine einfache Reihe von Molekeln gezeichnet in der Orientirung, in welche sie nach dieser Hypothese durch den erregenden Strom versetzt werden. Dass aus einer solchen Orientirung die angezeigten Strömungsverhältnisse folgen würden, ist einleuchtend.

Bei der Reproduction der von Grünhagen erfundenen, von Hermann wesentlich modificirten Erklärung werde ich mich an die Darstellung des letztgenannten Autors halten. Hiernach ist jede Nervenfaser als aus einem Kerne (*K*) und einer Hülle (*H*) (Fig. 2) bestehend, zu denken. Der Kern, ein axiales Gebilde, vielleicht der Axencylinder selbst, leitet die Elektricität besser als die Hülle. Wird nun ein galvanischer Strom (*E*) dem Nerven an der Stelle *a* zugeführt, so tritt er zunächst in die Hülle jeder Faser, durchsetzt diese mit seinem grössten Antheile nach der Quere und tritt nun in den gut leitenden Kern, aus welchem er an einer der Ableitungsstelle *k* gegenüberliegenden Stelle wieder heraus und quer durch die Hülle durchtritt. Nun soll aber nach dieser Hypothese beim Uebergange des Stromes aus einer der beiden Substanzen des Nerven in die andere eine (elektrolytische) Polarisation an der Grenzschichte stattfinden, welche einen sogenannten Uebergangswiderstand schafft, das heisst, welche gleichsam dem elektrischen Strome den Eintritt aus der Hülle in den Kern und ebenso den Austritt aus dem Kerne in die Hülle erschwert. Hiedurch wird der Strom genöthigt, seine Eintrittsstelle in den Kern zu verbreitern, also mit wesentlichen Antheilen Wege im Nerven zu gehen, welche in Fig. 2 durch die länger geschäfteten Pfeile angedeutet sind. Legt man nun wieder an den Punkten *a'* und *k'* dem so durchflossenen Nerven einen das Galvanometer *g* enthaltenden Bogen an, so wird ein Theil dieser Seitenströme durch den Bogen in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung gehen und sich am Galvanometer anzeigen. Die Richtung

des Stromes in diesem Bogen ist aber dieselbe, wie wenn *a' n k' g a* ein Stromkreis wäre, und in dem Stück *a' n k'* der Strom in der durch diese Buchstabenfolge bestimmten Richtung ginge.

Nach dieser Hypothese ist der Elektrotonusstrom eine durch (eloktrolytische) Polarisation in das betreffende Nervenstück hineingedrängte Stromschleife. Nach der früher vorgetragenen Hypothese ist der Elektrotonusstrom das Resultat der elektromotorischen Eigenschaften des betreffenden Nervenstückes, deren es durch eine „säulenartige“ Polarisation theilhaftig geworden ist. Da im Folgenden noch oft von diesen beiden Hypothesen die Rede sein wird, so ist es zweckmässig, sie durch kurze Namen zu bezeichnen. Ich werde also die von du Bois-Reymond herrührende Hypothese, da in ihr von elektromotorischer Polarisation die Rede ist, die „elektromotorische“, die andere, welche sich auf elektrolytische Polarisation beruft, die „elektrolytische“ Hypothese nennen.[1])

Ich habe nie daran gezweifelt, dass sich bei der fundamentalen Verschiedenheit dieser beiden Hypothesen ein *Experimentum crucis* müsse finden lassen, welches zwischen ihnen entscheidet. Diess ist nun allerdings nicht so leicht, wie ich es mir anfangs dachte, indem beide Hypothesen in erstaunlicher Weise selbst minutiösen Details der Erscheinung gerecht werden und mit anscheinend gleicher Leichtigkeit und Präcision die Resultate vielfach abgeänderter Versuchsanordnungen voraussehen lassen und vollständig erklären. Endlich bin ich auf die folgende Versuchsanordnung verfallen, welche meine Erwartung, dass sie als *Experimentum crucis* zwischen der elektromotorischen und der elektrolytischen Hypothese entscheiden würde, nicht getäuscht hat.

Zu diesem Versuche gehört ausser den für jeden Elektrotonusversuch nöthigen beiden Elektrodenpaaren (dem „erregenden“ und dem „ableitenden“) noch ein drittes Paar unpolarisirbarer Elektroden, welches ich, da sie bei den Versuchen mit keinen weiteren Apparaten verbunden werden, sondern einen einfach dem Nerven angelegten Bogen repräsentiren, das „indifferente“ Elektrodenpaar nenne. Sind die beiden Zinkstäbe dieser Elektroden durch Herstellung eines

[1]) In neuerer Zeit pflegen einige Autoren diese letztere mit dem Namen der „physikalischen Theorie des Elektrotonus“ zu bezeichnen. Sehr glücklich scheint mir die Wahl dieses Namens nicht zu sein, da er ja seinen Gegenstand nicht nur bezeichnen, sondern auch von einem zweiten unterscheiden soll. Dieser zweite ist du Bois-Reymond's Hypothese, und diese wurde von ihrem Erfinder ebenfalls (und zwar viel früher) als „physikalische Theorie des Elektrotonus“ bezeichnet.

Contactes in leitende Verbindung miteinander gebracht, so haben wir den „indifferenten Bogen“ geschlossen.[1])

Mein Versuch besteht nun darin, dem elektrotonisirten Nerven den indifferenten Bogen so anzulegen, dass er den ableitenden Bogen überspannt, das heisst, dass die beiden Fusspunkte des zum Galvanometer ableitenden Bogens zwischen den beiden Fusspunkten des indifferenten Bogens liegen.

Es entsteht hiedurch die Anordnung, welche in Fig. 3 angedeutet ist. *Z*, *K* ist ein constantes Element, *S* ein du Bois-Reymond'scher Schlüssel, *C* ein Commutator, *E, E* sind die unpolarisirbaren Elektroden, welche den erregenden Strom dem Nerven zuführen. *e, e* sind zwei unpolarisirbare Elektroden, welche den Elektrotonusstrom dem Galvanometer mit Spiegelablesung *G* zuleiten. ε, ε sind die unpolarisirbaren Elektroden, mittelst deren der indifferente Bogen dem Nerven anliegt. Dieser Bogen kann durch den mit Quecksilbercontacten versehenen Telegraphentaster *T* nach Belieben unterbrochen oder wiederhergestellt werden.

Betrachten wir nun, was nach der einen und was nach der anderen von den beiden Elektrotonustheorien sich bei einer solchen Anordnung des Versuches ergeben muss.

Wir werden versuchen, diese Aufgaben durch directe physikalische Anschauung zu lösen.

Zunächst nach der elektrolytischen Hypothese gehen von *E* (Fig. 4 Taf. XVI) Stromfäden durch die Hülle gegen den Kern zu. Dieselben verbreiten sich zwar nach beiden Seiten, uns interessiren sie aber nur auf der Seite, auf welcher ein Elektronusstrom abgeleitet werden soll. Diese Stromfäden haben um so grössere Stromdichten, je kürzer sie sind. Es wird ja die Stromstärke in jedem Faden seiner

[1]) Ein solcher indifferenter Bogen ist zuerst 1849 von E. du Bois-Reymond (Unters. II. Bd., I. Abth., p. 543) vorgeschlagen und dann von Roeber (Archiv f. Anat. und Physiologie, 1869, p. 623—631) in demselben Sinne verwendet worden. Grünhagen (Henle und Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. 1868) hat vor Roeber ähnliche Versuche angestellt und daraus Schlüsse für die Richtigkeit seiner Elektrotonustheorie gezogen. Roeber entschied sich auf Grund seiner mit analogem Resultate angestellten Versuche gegen jene Theorie und für die elektromotorische. Hermann, der 1873 (Arch. f. d. ges. Physiologie, 7. Bd.) die angedeuteten Versuche wiederholte, bemerkt sehr richtig, dass sie sich aus den verschiedenen Theorien erklären lassen, also nichts für die eine oder die andere beweisen. Auch Schiff hat schon 1868 (Nuovo Cimento) einen im Wesentlichen auf derselben Anordnung beruhenden Versuch seines damaligen Assistenten Herzen mitgetheilt. Alle diese Anwendungen eines indifferenten Bogens haben aber mit der im Folgenden zu beschreibenden nichts gemein, wesswegen ich auch glaube, dass ihre kurze Erwähnung in dieser Anmerkung vollkommen genügt.

Länge umgekehrt proportional sein, und es ist für die ganze Betrachtung nicht zu vergessen, dass wir uns in der Substanz der Hülle eine absolut und relativ schlecht leitende Substanz vorzustellen haben. Von diesen Strömen wird ein Zweigstrom durch den ableitenden Bogen e' G e gehen und sich am Galvanometer eben als Elektrotonusstrom anzeigen. Je weiter von dem erregenden Bogen wir den ableitenden anlegen, desto geringer wird der abgeleitete Elektrotonusstrom *caeteris paribus* sein — das ist klar. Nun compliciren wir unser Schema durch den indifferenten Bogen ε T ε'. Dieser Bogen wird, wie der frühere, von einem Zweigstrome durchflossen werden, und zwar von einem stärkeren Strome als jener, denn er liegt dem erregenden Bogen näher. Mit seinem anderen Fusspunkte ε ist er freilich weiter vom erregenden Strome entfernt. Der Bogen ε T ε' leitet aber, da er ausser den Elektroden nur metallische Bestandtheile enthält, gut. Durch ihn wird also ein grosser Theil der Stromfäden abgezweigt, noch ehe sie die Fusspunkte des „ableitenden" Bogens erreichen, der Strom in diesem der Elektrotonusstrom, wird also durch Anlegung des indifferenten Bogens geschwächt werden. Aber noch mehr: An dem zweiten Fusspunkte des indifferenten Bogens (ε) wird ein Büschel von Stromfäden in die Hülle ausstrahlen, welches so stark ist wie jenes, das bei ε' in ihn eintrat. Dieses Büschel (in Fig. 4 roth) wird den Kern in symmetrischer Weise um ε herum aufsuchen, Fäden von ihm werden also in der Hülle die Richtung von ε gegen ε' zu einschlagen, und zwar werden diese Fäden grössere Stromstärken haben als diejenigen Stromfäden, welche von E aus nur durch die schlechtleitende Hülle gegangen sind und auch grössere Intensität als jene Stromfäden, welche einen Theil ihres Weges durch die Hülle einen anderen Theil durch den ableitenden Bogen e' G e zurückgelegt haben. Es wird also der ableitende Bogen, wenn wir denselben aus der symmetrischen Lage, in welcher ihn die Zeichnung Fig. 3 darstellt, gegen ε zu verschieben, wie in Fig. 4, von einem Strome durchflossen werden, dessen Richtung die entgegengesetzte von jenem Strome ist, der durch ihn ginge, wenn kein indifferenter Bogen vorhanden wäre. Es ist aber ganz klar, dass mit zunehmender Entfernung des ableitenden Bogens von ε die Stärke dieses umgekehrten Elektrotonusstromes abnehmen muss, und dass er irgendwo zwischen ε und ε' durch Null in den normal gerichteten Elektrotonusstrom übergehen muss. Ferner ergiebt es sich auch ganz von selbst, dass der Elektrotonusstrom im Bogen e' G e unter allen Umständen seine normale Richtung haben muss, wenn die Mitte der Spann-

weite des ableitenden Bogens $\varepsilon'\ G\ e$ näher an ε' als an ε liegt; denn für diesen Fall ist immer die Summe der Intensitäten der von der Seite von ε' in ihn eintretenden Stromfäden grösser als die Summe der von der entgegengesetzten Seite her in ihn eintretenden.

Uebrigens ist klar, dass, je mehr der Widerstand des Bogens $\varepsilon'\ T\ \varepsilon$ gegen den der Hülle in Betracht kommt, desto weiter der Punkt, auf den die Mitte des Bogens $\varepsilon'\ G\ e$ fallen muss, damit durch diesen kein Strom geht, dass, sage ich, dieser Punkt umso weiter gegen ε zu liegen wird. Ein Verhältniss, bei welchem dieser Punkt die Mitte der Strecke $\varepsilon\ T\ \varepsilon'$ in der Richtung nach ε' zu überschreitet, ist, solange die einzelnen Theile der Anordnung merklich prismatische Gestalten haben, undenkbar.

Diese Betrachtungen lassen sich leicht an einem Schema erproben. Da es sich hierbei als nothwendig herausstellt, die Ansatzstellen der Elektroden an die Hülle vielfach zu variiren, und da ausserdem die Hülle sehr schlecht leiten muss, im Vergleich zu den Bögen, so habe ich es vorgezogen, die Versuche an dem ursprünglichen Matteucci'schen Schema anzustellen. Ich bespann mir zu diesem Zwecke einen ausgeglühten Platinadraht mit weisser offener Seide in sehr dünner aber tadellos deckender Schichte und durchfeuchtete die Umhüllung des ausgespannten Drahtes mit Zinkvitriollösung. Kurze Stäbchen aus amalgamirtem Zinkdraht, die an dünne Kupferdrähte angelöthet waren, bildeten die Elektroden, welche der feuchten Umhüllung des Drahtes unmittelbar angelegt wurden. Die Versuche mit einem solchen Schema erheischen die einzige Vorsicht, dass die Durchfeuchtung der Hülle eine möglichst gleichmässige sei. Unbemerktes Austrocknen einer Stelle würde natürlich zu sehr grossen Irrthümern Anlass geben.

Dem Beispiele früherer Forscher (Hermann) folgend, habe ich alle diese Dinge auch an Schematis nachgesehen, welche aus einer Glasröhre bestanden, die eine Reihe nach oben gerichteter seitlicher Ansätze trug und durch deren Lumen ein Platinadraht der Länge nach ausgespannt war. Das ganze System wird mit Zinkvitriollösung gefüllt, die also den Draht umspült und in die seitlichen Ansätze hineinreicht. In letztere tauchen dann von oben her die aus amalgamirtem Zink bestehenden Elektroden. Sollen die Bedingungen für unseren Versuch so eingerichtet sein, dass er das für weitere Betrachtungen günstigste Resultat giebt, so muss, wie schon bemerkt, der Widerstand in der Hülle gross, im indifferenten Bogen dagegen verschwindend sein. Man hat also zum Hauptrohre eines von fast thermometrischer Enge zu nehmen, welches von dem durchgespannten

Platinadrahte fast ganz ausgefüllt wird. Ferner müssen die seitlich angesetzten Röhrenstücke weit sein und die Zinke in ihnen müssen bis nahe an den Platinadraht herabreichen. Ist alles dies erfüllt, so kann man erst nicht die Elektroden nach Belieben längs der Hülle verschieben, um z. B. die Stellung zu suchen, bei der durch den ableitenden Bogen gar kein Strom geht — ich habe darum diese Form bald wieder verlassen und am umsponnenen Drahte weiter experimentirt, an diesem aber alle bisher vorgetragenen elektrischen Verhältnisse vollkommen bestätigt gefunden, also, um die Hauptpunkte zu wiederholen: bei Anlegung des indifferenten Bogens unter allen Umständen Verminderung der Intensität im ableitenden Bogen. Diese Verminderung wächst, wenn man den ableitenden Bogen jenem Fusspunkte des indifferenten Bogens nähert, der vom erregenden Strome weiter abliegt, und geht endlich über in Umkehrung des Stromes. Und um denjenigen Umstand, auf welchen es uns bei dieser ganzen Erörterung ganz besonders ankommt, weil er sozusagen den einen Schenkel unseres *Experimentum crucis* darstellt nochmals hervorzuheben: So lange der Mittelpunkt des ableitenden Bogens dem der durchflossenen Strecke zugewendeten Fusspunkte des indifferenten Bogens näher liegt als dem anderen Fusspunkte dieses Bogens, ist die Richtung des Stromes im Galvanometerbogen immer gleich der Richtung des Stromes in der erregenden Kette.

Wie verhält sich nun aber alles dies unter Zugrundelegung der elektromotorischen Hypothese?

Diese nimmt an, dass der Nerv, wenn eine Strecke desselben von einem constanten Strome durchflossen wird, auf allen seinen Punkten elektromotorisch wirksam wird und wir haben also — die Form der sämmtlichen in Betracht kommenden Leiter als linear vorausgesetzt — in dem elektrotonisirten Nervenstück, welches vom indifferenten Bogen überspannt wird und welchem ausserdem der ableitende (Galvanometer-) Bogen anliegt, einen Fall vor uns, der sich mittelst der bekannten physikalischen Sätze berechnen lässt, wenn wir nur in der Lage sind, über die Vertheilung der elektromotorischen Kräfte auf dem Nerven eine bestimmte, mathematisch ausdrückbare Annahme zu machen. Da wir aber letztere Bedingung in Wirklichkeit nicht zu erfüllen vermögen, so hat die Anwendung der Rechnung auf unsere Aufgabe überhaupt geringen Werth, und wir werden vorziehen, sie wie die erste auf dem Wege der physikalischen Anschauung zu lösen.

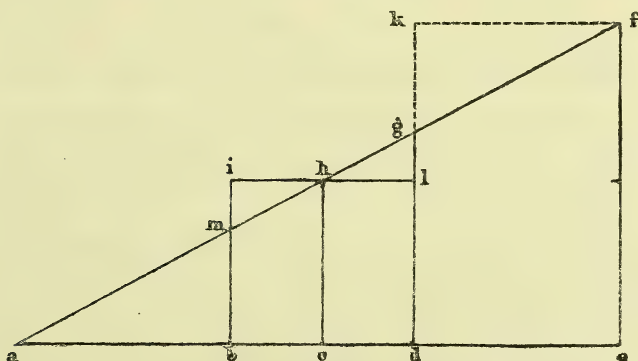
Betrachten wir zuerst einen sehr einfachen Fall. Der Leitungswiderstand der Bögen sei verschwindend gegen den des Nerven, und alle Molekeln des letzteren seien von gleicher elektromotorischer Kraft. Dann haben wir folgende Partialströme. Die zwischen e und e' (Fig. 5) gelegenen Molekeln bilden eine galvanische Kette, deren Strom im Galvanometerbogen in der Richtung des schwarzen Pfeiles fliesst. Von diesem Strome, welcher von den zwischen e und e' gelegenen Molekeln herrührt, wird kein Antheil sich auf dem Wege $e'\ \varepsilon'\ T\ \varepsilon\ e$ abgleichen, weil hier ein unendlich grösserer Widerstand besteht, sondern dieser ganze Strom geht durch den Galvanometerbogen. Von dem Strome, welcher von den Molekeln ε bis e und e' bis ε' herrührt, wird wiederum nichts durch das Nervenstück $e\ e'$ gehen, sondern die Bahn dieses Stromes wird sein: $\varepsilon\ e\ G\ e'\ \varepsilon'\ T\ \varepsilon$. Diese beiden Ströme sind einander im Galvanometerbogen entgegengerichtet (schwarzer und rother Pfeil), es wird also daselbst ihre Differenz erscheinen. Nun geht aber aus den gemachten Annahmen hervor, dass die beiden Ströme einander an Stärke gleich sind. Denn da die äusseren Widerstände gegen die inneren verschwinden, wachsen bei Veränderung der Anzahl der Elemente Zähler und Nenner des Bruches $\frac{E}{W}$ proportional; es ist also der Werth dieses Quotienten, das heisst, die Stromstärke von der Anzahl der Elemente der Kette unabhängig.

Nun machten wir an den Bedingungen des eben betrachteten Falles eine kleine Aenderung, indem wir annehmen, alle Molekeln haben die gleiche elektromotorische Kraft bis auf eine einzige, welche eine grössere Kraft hat als die übrigen, und diese eine Molekel liege entweder auf der Strecke $\varepsilon\ e$ oder auf der Strecke $e'\ \varepsilon'$. Für diesen Fall wird durch Schliessung des indifferenten Bogens $(\varepsilon\ T\ \varepsilon')$ der Strom im Galvanometerbogen in seiner Richtung umgekehrt werden. Denn die Intensität im Bogen $e\ G\ e'$ war, wenn wir mit m die Zahl der auf der Strecke $e\ e'$ hintereinanderliegenden Molekeln, mit E die elektromotorische Kraft einer jeden von ihnen und mit W den Elementarwiderstand bezeichnen: $\frac{mE}{mW} = \frac{E}{W}$. Bezeichnen wir mit n die Anzahl der Elemente zwischen ε und e plus der zwischen e' und ε' und mit ΔE den Ueberschuss der elektromotorischen Kraft jener einen Molekel über die jeder anderen, so ist die Intensität des durch Anbringung des indifferenten Bogens geschlossenen Stromes $=$ $\frac{nE + \Delta E}{n\ W} > \frac{E}{W}$. Da also dieser Strom stärker ist als der andere

und ihm entgegengesetzt gerichtet, so wird er jenen umkehren.[1])

Jetzt betrachten wir den Fall, dass vom einen Ende der Strecke nach dem anderen zu die elektromotorische Kraft der Molekeln sich in gesetzmässiger Weise ändere, und zwar zunächst nach dem Gesetze der geraden Linie. Die Mitte des Galvanometerbogens stehe genau über der Mitte der betrachteten elektromotorischen Strecke; auf den Endpunkten derselben ruhe der indifferente Bogen. Den Widerstand beider Bögen vernachlässigen wir wiederum. Es sei *ae* die elektromotorische Strecke.

Die elektromotorische Kraft der in *a* gelegenen Molekel sei gleich Null, die der Molekel in *e* sei gleich *ef*; die Linie *af* stellt also das Gesetz der Vertheilung der Kraft auf die einzelnen Molekeln dar;



bd ist die vom Galvanometerbogen bespannte Strecke. Die Intensität des Stromes in ihr stellen wir uns vor als Quotienten zweier Linien,

[1]) Dieser Fall lässt die Illustration durch ein Schema zu. Man nehme etwa acht oder zehn Daniell'sche Elemente. Um den Elementarwiderstand zu vergrössern, hängte ich jedem der Elemente ein kleines Widerstandsröllchen von $18^3/_4$ S. E. an. Dann verbindet man zwei Binnenglieder der untereinander zur Kette verbundenen Elemente mit einem Galvanometer von geringem Widerstande, etwa einer Gaugain'schen Boussole. Starker Ausschlag, der nahezu auf Null zurückgeht, sobald man nunmehr auch die Endglieder der Kette miteinander durch einen dicken Draht verbindet. (Der Versuch würde genauer ausfallen, wenn man noch grössere Widerstände in der Kette verwendete.) Ersetzt man dann eines der Daniell'schen Elemente, die nicht im kleinen Boussolkreise sich befinden durch ein stärkeres Element ein Bunsen'sches oder Grennet'sches, dem man das betreffende Widerstandsröllchen angehängt hat und noch einen Ergänzungswiderstand dazu, der dem Unterschiede der inneren Widerstände eines Daniell'schen und eines Bunsen'schen Elementes gleich ist — dann wird durch Schliessung des Bogens, der die Endelemente verbindet, der Strom im Boussolkreise der Richtung nach umgekehrt.

die mit einander ein Rechteck bestimmen, dessen Höhe die mittlere elektromotorische Kraft der Strecke, dessen Basis den Widerstand der Strecke, also einfach ihre Länge bedeutet. Dann haben wir für die Strecke *bd* das Rechteck *bild* zu construiren, dessen Höhe

$$hc = \frac{bm + dg}{2} = \frac{ef}{2} \text{ ist.}$$

Für den anderen Strom haben wir ein Rechteck von der Basis $ab + de$ zu construiren, dessen Inhalt der Summe der Inhalte des Dreieckes *abm* und des Trapezes *dgfe* gleich ist. Wir addiren diese beiden Figuren zuerst zum Rechteck *defk* und für die Umgestaltung dieses Rechteckes in eines von der Basis $ab + de$ haben wir $\overline{ed}.\overline{ef} = (\overline{ab} + \overline{de})\, x = 2ed.x$, woraus folgt:

$$x = \frac{ef}{2} = hc.$$

Die mittlere elektromotorische Kraft der Strecken *ab* und *de* zusammen ist also gleich der mittleren elektromotorischen Kraft der Strecke *bd*, der Galvanometerstrecke. Es wird also für diesen Fall im Galvanometerbogen kein Strom circuliren, wenn der indifferente Bogen geschlossen ist.

Wäre das Gesetz der Vertheilung der elektromotorischen Kräfte ein anderes, zum Beispiel das einer vom einen Ende der Strecke zum anderen stets ansteigenden krummen Linie, die der Abscisse ihre Convexität zuwendet, so müsste offenbar der Galvanometerbogen, um bei geschlossenem indifferentem Bogen stromlos zu sein, aus der Mitte der Strecke gegen dasjenige ihrer beiden Enden zu verschoben werden, an welchem die höhere elektromotorische Kraft herrscht. Liesse man den Galvanometerbogen in der Mitte, so würde sich der in ihm circulirende Strom als ein umgekehrter erweisen. Ich glaube nicht, auch diesen Satz explicite ableiten zu sollen; unter Zuhilfenahme der eben angedeuteten geometrischen Anschauungsweise ergiebt er sich unmittelbar.

Nun nimmt aber die elektromotorische Hypothese des Elektrotonus eine derartige Vertheilung der elektromotorischen Kräfte zu beiden Seiten der durchflossenen Strecke an, wie wir sie eben betrachtet haben.

* E. du Bois-Reymond spricht sich (Unters. üb. thier. El., 2. Bd., I. Abth., p. 361) hierüber folgendermassen aus: „Die Curve, in welcher die Stärke der Polarisation von den Elektroden aus nach

den Enden des Nerven zu sinkt, ist aller Wahrscheinlichkeit nach .... gegen den als Abscissenaxe gedachten Nerven stark convex gebogen und schliesst sich ihm in der Ferne asymptotisch an".

Da meines Erinnerns bestimmte Messungen, welche auf die Form dieser Curve Bezug haben, nicht gemacht sind, so habe ich mit einem sich für derartige Untersuchungen gut eignenden Instrumente, welches ich nach dem Vorbilde des Lippmann'schen Capillarelektrometers construirt habe und welches nächstens beschrieben werden soll, einige elektrotonisirte Nerven gemessen und gebe das Resultat einer solchen Messung in der Curve Fig. 6. Der Nerv stellt zugleich die Abscisse dar. Die Strecken auf derselben bedeuten ebenso lange Strecken am Nerven. Man erkennt das elektrotonisirende galvanische Element und die beiden Elektroden, mittelst deren der erregende Strom (1 Daniell) dem Nerven zugeführt wird. Das ableitende Elektrodenpaar[1]) hatte dieselbe Spannweite (5 Mm.), wie das erregende. Auf den Ordinaten bedeutet jedes Millimeter eine elektromotorische Kraft von $\frac{1}{300}$ Daniell. Die Punkte in der Curve entsprechen den direct gemessenen Grössen, im übrigen wurde graphisch interpolirt.

Hält man das, was diese Curve über die Vertheilung der elektromotorischen Kräfte im elektrotonisirten Nerven aussagt, mit dem zusammen, was weiter oben über die Consequenzen einer derartigen Vertheilung elektromotorischer Kräfte auf eine Strecke gesagt ist, wenn diese den Bedingungen unseres Versuches unterworfen wird, so ergeben sich als Postulate für den elektrotonisirten Nerven aus der elektromotorischen Hypethese folgende Punkte:

1. Bei symmetrischer Lage beider Bögen am elektrotonisirten Nerven muss durch Schliessung des indifferenten Bogens der Strom im Galvanometerbogen umgekehrt werden, ja es muss wegen der besonderen Gestalt der Curve Fig. 6 der umgekehrte Strom eine beträchtliche Stärke haben.
2. Sucht man jene Lage des Galvanometerbogens zum indifferenten Bogen, bei welcher, nach Schliessung des letzteren, in ersterem kein Strom circulirt, während der Nerv elektrotonisirt wird, so muss sich ergeben, dass der Galvanometerbogen von der Mitte weg in der Richtung gegen die erregte Strecke zu zu verschieben ist, und zwar abermals ziemlich weit.

[1]) Alle in dieser Untersuchung verwendeten Elektroden waren Pinselelektroden.

Wie man sieht, ergeben sich aus der elektrolytischen Hypothese für diese Fälle andere Resultate wie aus der elektromotorischen; es eignen sich also diese Fälle zur Entscheidung zwischen beiden Hypothesen.

Ich habe nun recht viele derartige Versuche angestellt, werde aber, da sie ausnahmslos dasselbe Resultat ergeben haben, nur für jeden Fall ein Beispiel vorführen.

Ein frisch präparirter Frosch-Ischiadicus wurde über ein Paar Pinselelektroden mit seinem rein cylindrischen Theile gebrückt. Diese Elektroden, welche die Fusspunkte des indifferenten Bogens darstellen, sind 12 Mm. von einander entfernt. Ihre Zinke können durch einen einstweilen geöffneten Schlüssel in leitende Verbindung mit einander gebracht werden. Zwischen ihnen liegen dem Nerven zwei Pinsel an, deren Entfernung von einander 6·5 Mm. beträgt. Sie werden mit der äussersten Sorgfalt symmetrisch dem Nerven angelegt, so dass sie von der Mitte jener 12 Mm. langen Strecke, die der indifferente Bogen überspannt, gleich weit abliegen. Die beiden Pinsel, welche den erregenden Strom dem Nerven zuleiten, berühren diesen an Stellen, von denen die nähere 1 Mm., die entferntere 11 Mm. von dem einen Pinsel des indifferenten Bogens absteht, so dass die von dem erregenden Strome (1 Daniell) durchflossene Strecke 10 Mm. lang ist. Der indifferente Bogen ist offen. Der erregende Strom wird geschlossen, an der Boussole mit Spiegelablesung erfolgt ein Ausschlag von 447—467 = + 20.

Der erregende Strom wird unterbrochen, der indifferente Bogen geschlossen, und als nun der erregende Strom wieder hergestellt wird, erfolgt ein Ausschlag von 444—372 = — 72.

Es ist also durch diesen Versuch nachgewiesen, dass das erste Postulat der elektromotorischen Hypothese vom Nerven vollständig erfüllt wird. Dieser Versuch ist keineswegs der frappanteste. Ich habe ihn aber speciell zum Zwecke der Publication angestellt und alle in Frage kommenden Distanzen genau gemessen — darum theile ich ihn mit.

Bei einem das zweite Postulat betreffenden Versuche an einem anderen Nerven war die Spannweite der Elektroden, welche den erregenden Strom zuleiteten, ebenfalls 10 Mm. Die erste Elektrode des indifferenten Bogens war, wie im ersten Versuch, nur 1 Mm. von einer der zuleitenden entfernt. Aber der indifferente Bogen fasste eine 22 Mm. lange Strecke des Nerven unter sich. In dieser Strecke wurde nun mit dem Elektrodenpaare, das zur Boussole führte,

und welches eine constante Spannweite von 7 Mm. hatte, so lange herumgetastet, bis eine Lage gefunden war, bei der die Elektrotonisirung des Nerven gar keinen Ausschlag an der Boussole hervorbrachte, wenn der indifferente Bogen geschlossen war. Um die Lage des ableitenden Bogens, bei der dieser Zustand erreicht war, anschaulich zu machen, werde ich die beiden Strecken angeben, welche zwischen jeder der beiden Elektroden des indifferenten Bogens und der ihr zunächst gelegenen ableitenden Elektrode lagen, also nach dem Schema der Fig. 5 die beiden Strecken εe und $e' \varepsilon'$. Sie betrugen **14** Mm. und **1** Mm.

So nahe also zu dem der erregten Strecke näheren Fusspunkte des indifferenten Bogens musste der ableitende Bogen geschoben werden, damit er stromlos war. Hiemit ist dem zweiten Postulate der elektromotorischen Hypothese genügt.

Absolut genommen ist hiemit die elektromotorische Hypothese zwar nicht bewiesen, sondern nur durch einen Fall logischer Induction sehr wesentlich gestützt. Wenn man aber berücksichtigt, dass es ausser dieser Hypothese bis jetzt nur noch e i n e giebt, und dass diese eine durch unsere Versuche geradezu widerlegt ist, so wird man wohl nicht umhin können, die elektromotorische Hypothese einstweilen als bewiesen anzusehen.

VI. Abhandlung.

Ueber die Wirkung linearer Stromschwankungen auf Nerven.

(Aus dem LXXXII. Bande der Sitzb. der k. Akad. d. Wissenschaften. III. Abth. Juli-Heft. Jahrg. 1880. Vorgelegt in der Sitzung am 8. Juli 1880.)

(Hiezu Tafel XVII, XVIII, XIX und 6 Holzschnitte.)

In der III. Abhandlung[1]) dieser Reihe von Untersuchungen ist die ausführliche Beschreibung eines Instrumentes zur Erzeugung genau linearer Schwankungen elektrischer Ströme, des „Rheonoms" enthalten. Die vorliegende Abhandlung, welche sich mit der Mittheilung von einigen mit diesem Instrumente gewonnenen Resultaten beschäftigt, setzt demnach die Kenntniss des Inhaltes jener früheren Schrift voraus.

Will man mit Hilfe des Rheonoms Stromschwankungen von bestimmter Steilheit hervorbringen, so bedarf man hiezu eines Motors, welcher gestattet, der Axe des Instrumentes constante Geschwindigkeiten von verschiedenen Werthen zu ertheilen. Hiefür leistete ein Apparat ausgezeichnete Dienste, welchen das Wiener physiologische Institut seit einigen Jahren besitzt, und der wohl zu den wichtigsten Behelfen einer solchen Anstalt gezählt werden muss. Er ist in seinen wesentlichen Theilen dem Motor des Hughes'schen Druck-Telegraphen nachgebildet und nur in grösseren Dimensionen ausgeführt. Auch ward eine Veränderung im Regulator durch die beträchtliche Vergrösserung des treibenden Gewichtes (über 100 Kilogramm) und durch die Rücksicht auf Vermeidung von Vibrationen bedingt. Das Aufziehen wird ohne Mühe durch Treten eines Pedals besorgt und stört die Gleichmässigkeit des Ganges nicht im mindesten. Von den Axen des Laufwerkes sind drei über den Rahmen desselben hinausgeführt, deren Umdrehungsgeschwindigkeiten sich unter

---

[1]) Diese Berichte LXXVI. Bd., III. Abth. October-Heft 1877.

allen Umständen wie 1 : 10 : 100 verhalten. Auf jede derselben kann eine zur Aufnahme eines Schnurlaufes bestimmte Scheibe aufgesteckt werden. Die Geschwindigkeit, mit welcher das ganze Werk läuft, lässt sich durch Handhabung einer den Regulator beherrschenden Schraube innerhalb sehr weiter Grenzen variiren und ist, wie durch besondere Versuche meines Collegen Prof. Sigm. Exner festgestellt wurde, allemal bis auf etwa ein $^1/_{200}$ ihres Werthes constant. Eine zweite Reihe von grösseren Geschwindigkeiten kann durch Versetzen des Regulators auf eine andere Axe des Laufwerkes erhalten werden.[1])

Es wurde nun bei meinen Versuchen das Rheonom mittelst dieses Laufwerkes in Rotation versetzt. Die Speisung des Rheonoms mit einem constanten Strome geschah in der Weise, dass eine aus zehn bis zwanzig Hydro- oder Thermo-Elementen bestehende Batterie (E_1, Holzschn. 1) mit einem Stromwähler verbunden war, von dem zwei Leitungsdrähte zu einem du Bois-Reymond'schen Schlüssel[2]) und von diesem weiter zu den für den Hauptstrom bestimmten Klemmen (A, B) des Rheonoms führten. Der Stromwähler hatte die Einrichtung, welche man an den Batteriekästen der Electrotherapeuten antrifft und welche gestattet, eine beliebige Anzahl von Elementen hintereinander in den Kreis einzuschalten. Die Intensität des Hauptstromes wurde als proportional der Anzahl der eingeschalteten Elemente betrachtet, da ja deren innerer Widerstand gegen die übrigen Widerstände des Kreises verschwindend klein war

Von den am Rheonom befindlichen Klemmen für den Brückenstrom[3]) (a, b) wurde dieser zu zweien von den Klemmen am Pflüger'schen Myographium (α, β), und von da in bekannter Weise mittelst der in Nr. II[4]) dieser Reihe von Abhandlungen beschriebenen unpolarisirbaren Pinselelectroden dem Nerven zugeleitet. Der Träger des Rahmens für die berusste Glasplatte war vom Myographium abgeschraubt und die zeichnende Spitze des letzteren (1) der Trommel eines Ludwig'schen Kymographiums gegenübergestellt. Genau unter dieser Spitze schrieben noch zwei andere Spitzen ihre Bewegungen auf die rotirende Trommel, welche letztere mit be-

[1]) In dieser Verfassung ist das Laufwerk ein sehr bequemes Mittel zum Drehen Maxwell'scher Farbenscheiben. Es ist eine Vorrichtung beigegeben, welche das Aufstecken derselben auf die Axen des Apparates selbst ermöglicht.

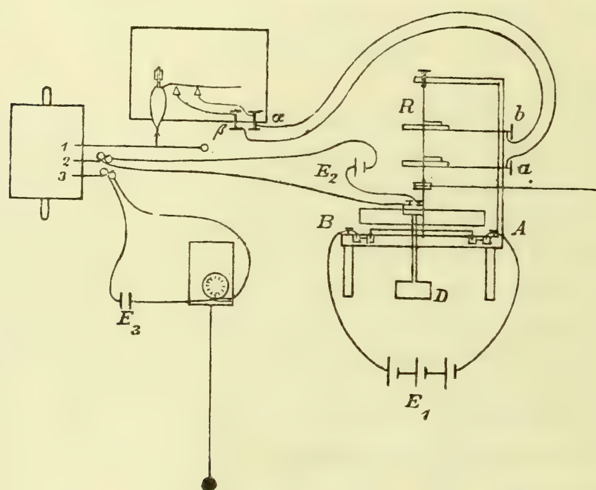
[2]) Stromwähler und Schlüssel sind in der schematischen Figur weggelassen.

[3]) So will ich fürderhin den in der rotirenden Wheatstone'schen Brücke circulirenden Strom bezeichnen.

[4]) Diese Berichte LXXIV. Bd., III. Abth., November-Heft 1876.

russtem Glanzpapier überzogen war. Die eine dieser Spitzen (3) zeichnete Secunden-Marken auf, das von der anderen Spitze (2) gezeichnete Tracé bezog sich auf die Bewegung des Rheonoms. Bei jeder ganzen Umdrehung der Axe desselben kommt die Brücke zweimal in eine Lage, in welcher sie stromlos ist. Nun wurden

Fig. 1.



entweder an dem einen Ende oder an beiden Enden der Brücke oder auch an den entsprechenden Stellen des Schwungrades je ein kleiner Stift befestigt und in die kreisförmige Bahn dieses Stiftes ein mit der Axe eines Czermak'schen Doppelhebels[1]) (D) verbundenes kurzes Stiftchen gestellt. Der Doppelhebel war in den Kreis einer Kette (E_2) aufgenommen, in welchem sich auch ein kleiner Electromagnet befand, der die zweite der oben erwähnten zeichnenden Spitzen trug. So oft also die an dem Schwungrade des Rheonoms angebrachte Hervorragung das Stiftchen des Doppelhebels streifte, machte der Markirmagnet ein Zeichen auf der berussten Fläche. Durch Verschieben des den Doppelhebel tragenden Statives konnte ich es leicht dahin bringen, dass die Marke auf der Trommel eben in dem Momente gezeichnet wurde, in welchem die Brücke ihre stromlose Lage passirte. Anfänglich liess ich jedesmal, wenn die Brücke ihre stromlose Lage passirte, ein Zeichen auf den Cylinder schreiben und unterschied die beiden Zeichen, die bei einer Um-

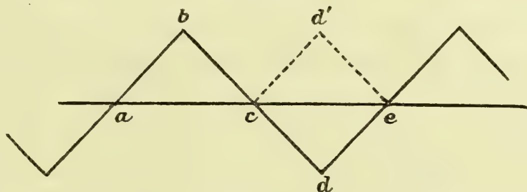
[1]) J. N. Czermak, Ges. Schr. I. Bd. II. Abth., pag. 820—835 und Taf. 27.

drehung geschrieben wurden, auf einfache Weise. Ich machte nämlich die beiden, am Schwungrad angebrachten Hervorragungen ungleich lang. Da der Brückenstrom bei einer Umdrehung der Axe einmal in einer Richtung und das zweite Mal in der entgegengesetzten Richtung durch Null durchgeht, so war es nothwendig, die Beziehung der beiden Zeichen zu den beiden Stromrichtungen zu constatiren. Bei rascher Umdrehung des Instrumentes wurde jedoch der Unterschied der beiden Zeichen undeutlich und ich zog es daher später vor, bei jeder ganzen Umdrehung immer nur ein Zeichen schreiben zu lassen, welches dann allemal, wenn nicht das Gegentheil gesagt wird, den Beginn des im Präparate absteigenden Brückenstromes bedeutet. In der Mitte zwischen je zwei solchen Zeichen liegt dann der Moment des Beginnes des aufsteigenden Stromes.

In der schematischen Darstellung dieser Anordnung sind der Einfachheit wegen gewisse Theile meines Apparates, die von untergeordneter Bedeutung sind, Schlüssel, Stromwähler, Stromwender ganz weggelassen.

Wie in meiner oben citirten Abhandlung nachgewiesen ist, lässt sich der aus dem Rheonom abgeleitete Strom durch folgende Linie darstellen:

Fig. 2.



Hier bezeichnen gleiche Abschnitte auf der Abscisse gleiche Zeiten, während die Ordinaten den Stromstärken proportional sind. Die über der Abscisse gelegenen Ordinaten entsprechen Strömen, welche im Nerven absteigen, die unter der Abscisse gelegenen Ordinaten entsprechen aufsteigenden Strömen. An den Punkten *a*, *c*, *e*, . . . ist der Strom im Nerven gleich Null. Während einer ganzen Umdrehung der Brücke durchfliesst ein Strom den Nerven, dem das Stück *abcde* entspricht — auf der Trommel werden die den Punkten *a* und *e* entsprechenden Momente direct bezeichnet, der dem Punkte *c* entprechende Moment wird, wie oben bemerkt ist,

durch Halbirung der Strecke zwischen jenen beiden anderen Marken gefunden.[1])

Zu den Resultaten, welche ich nun in Folgendem mittheilen will, bin ich auf zweierlei Weise gelangt. Einmal habe ich eine beträchtliche Anzahl von Rheonom-Versuchen gemacht, um das Verhalten von Muskeln kennen zu lernen, deren Nerven durch lineare Stromschwankungen gereizt sind, und hiebei habe ich eine so grosse Anzahl von auffallenden Reactionen und Beziehungen beobachtet, dass es mir bis jetzt noch nicht gelungen ist, alle diese Beziehungen in die Form von Gesetzen zu bringen, welche in vollkommen befriedigender Weise den Effect vorauszusagen gestatten. Ich werde also im Folgenden nur einige solche bis jetzt gewonnene und sichergestellte Sätze mittheilen. Dann aber habe ich auch Rheonom-Versuche angestellt mit der bestimmten Absicht, die Giltigkeit von Zuckungsgesetzen, welche ich bei Anwendung von inducirten Strömen gefunden hatte, für primäre Ströme zu prüfen. Diese Prüfung hat nun nicht nur eine mir sehr erfreuliche Bestätigung jener Zuckungsgesetze ergeben, sondern es sind mir bei diesen Versuchen auch wieder neue Erscheinungen aufgefallen, welche somit wieder in die Kategorie der erstbesprochenen sozusagen zufällig gefundenen Resultate gehören und demnach hier nur theilweise berücksicht werden sollen.

Das erste Resultat, welches die Rheonom-Versuche ergaben, war, wie ich l. c. mitgetheilt habe, der experimentelle directe Beweis des von E. du Bois-Reymond aufgestellten „allgemeinen Gesetzes der Nervenerregung durch den Strom“. Wie dieser Beweis anzustellen ist, habe ich in meiner mehrmals citirten III. Abhandlung bereits ausführlich genug gesagt. Es ist unzweifelhaft die Function, von deren Werth zumeist der Effect der Electricität auf den Nerven abhängt, der erste Differentialquotient der Intensität nach der Zeit (oder anders ausgedrückt, der zweite Differentialquotient der einen Nervenquerschnitt durchfliessenden Electricitätsmenge nach der Zeit). Meine Versuche ergaben, dass, wenn dieser

---

[1]) Es sind allerdings dem Apparate Vorrichtungen beigegeben, welche ermöglichen, dem Nerven entweder nur einen dem Stücke *abc* oder einen dem Stücke *abcde* entsprechenden Strom zuzuführen, und die vor und nach jenem Stücke gelegenen Stromschwankungen vom Nerven abzublenden, oder auch ihn zwar von einer ganzen Reihe von Stromschwankungen betreffen zu lassen, bei welchen jedoch die Richtung des Stromes im Nerven nicht umgekehrt wird, so dass ihr der Zug *abcd'e* . . . entspräche — doch machen wir einstweilen von diesen Vorrichtungen keinen Gebrauch.

Differentialquotient Null ist oder keinen hinreichend grossen Werth hat, die übrigen Grössen, welche sonst noch von Einfluss auf den Effect sind, als: Intensität, Richtung, Dauer des Stromes, Länge der durchflossenen Strecke u. s. w. beliebige Werthe annehmen können, ohne dass ein Effect zu Tage tritt. Ueberschreitet die Grösse des Differentialquotienten der Intensität nach der Zeit einen gewissen positiven Werth, so tritt allemal ein Effect ein. Einen so hohen negativen Werth des genannten Differentialquotienten herzustellen dass er ausgereicht hätte, um einen Effect am Muskel hervorzubringen, ist mir mit dem Rheonom nicht gelungen. Um diesen Satz verständlich zu machen, muss ich vorerst eine sehr eigenthümliche Thatsache berichten. Sucht man nämlich bei einem Versuche jene Steilheit der Stromschwankung, welche nothwendig ist, damit der Muskel reagirt, so findet man, dass die Reaction des Muskels während der ganzen Dauer der Stromschwankung in einer einzigen Zusammenziehung besteht. Der Strom steigt mit gegebener Steilheit von Null an im Nerven bis zu einer gewissen Grösse ohne die mindeste Reaction des Muskels, dann tritt bei einer gewissen Höhe des Stromes eine Zusammenziehung des Muskels ein, welche gewöhnlich die grösste Aehnlichkeit mit der auf einen Inductions-Schlag erfolgenden Zuckung hat, und während nun der Strom im Nerven mit der gegebenen Steilheit weiter ansteigt, erschlafft der Muskel wieder und bleibt fortan in Ruhe; endlich erreicht der Strom im Nerven sein Maximum und sinkt nun mit derselben Steilheit, mit welcher er früher angestiegen war, bis auf Null zurück, ohne dass sich der Muskel weiter rührt (nur erstreckt sich die Dauer der Zuckung oft weit in die späteren Reizphasen hinein).

Dass keine Zuckung auftritt, in dem Momente, in welchem der bis dahin ansteigende Strom plötzlich anfängt, abzufallen, ist nur auf den ersten Anblick erstaunlich, eigentlich aber war es zu erwarten. In jenem Momente findet nämlich eine Knickung der Linie statt, durch welche der Strom seiner Intensität nach dargestellt wird. Diese Knickung bedeutet keine Unstetigkeit der Function, denn es entsprechen unendlich kleinen Aenderungen des Argumentes (der Zeit) unendlich kleine Aenderungen der Function (der Intensität); wohl aber bedeutet diese Stelle eine Unstetigkeit des Differentialquotienten der Intensität nach der Zeit, nämlich einen Wechsel des Vorzeichens dieses Differentialquotienten. Da nun bekannt ist, dass die Wirksamkeit einer Stromschwankung von diesem Differentialquotienten (mit einem anderen Worte: von der Steilheit) abhängt,

so könnte man meinen, dieser Moment des Zeichenwechsels müsste jedenfalls wirksam sein. Aber gerade weil die Grösse dieses Differentialquotienten maassgebend ist für den Effect und nicht die Geschwindigkeit der Veränderung dieser Grösse, bleibt der Muskel vollkommen in Ruhe. Wäre diese Knickung wirksam, so müsste man sagen: der Effect eines Stromes hängt nicht von seiner Grösse und auch nicht von der Geschwindigkeit, mit der sich diese Grösse ändert, ab, sondern von der Beschleunigung dieser Geschwindigkeit. Dem ist aber, wie gesagt, nicht so, sondern: ebenso wie ein constanter Strom von beliebiger Stärke unwirksam ist, so ist auch ein noch so jäher Wechsel in dem Gesetze, nach welchem ein Strom sich ändert, unwirksam; das Gesetz selbst aber, nach welchem die Stärke des Stromes sich ändert, ist für seine Wirksamkeit maassgebend. Nach jener früher erwähnten Anschauungsweise, nach welcher die durch einen Querschnitt des Leiters gegangene Electricitätsmenge die abhängig Variable — die Zeit die unabhängig Variable ist, heisst dieser Satz so: Weder die Function, noch ihr erster, noch ihr dritter Differentialquotient sind maassgebend, maassgebend ist ihr zweiter Differentialquotient.

Indem ich Vieles, was über den Moment des Beginnes und über die Dauer der Zusammenziehung des mittelst linearer Stromschwankung gereizten Muskels zu sagen wäre, einer späteren Mittheilung vorbehalte, will ich hier nur bemerken, dass in den hier mitgetheilten Curven bei der geringen Geschwindigkeit, mit welcher die zu beschreibende Fläche sich an der schreibenden Spitze vorüberbewegte, der Moment des Beginnes der Zusammenziehung des Muskels immer nur um sehr weniges gegen den Moment des Beginnes der Stromschwankung von Null verschoben erscheint; und was die Dauer der Zusammenziehung anbelangt so werden wir sehen, dass diese sich in sehr vielen Versuchen nicht weit von der Dauer gewöhnlicher Zuckungen entfernt; doch werden auch andere Fälle zur Sprache kommen.

Die nun zunächst mitzutheilenden Versuche waren so angestellt, dass an einem mit Chloralhydrat reflexlos gemachten Frosche der *Nervus ischiadicus* in seiner ganzen Länge vom Austritte aus der Wirbelsäule bis zum Eintritte in den Muskel frei präparirt wurde und dann an verschiedenen Stellen seines Verlaufes mittelst Verschiebung des die linearen Stromschwankungen zuführenden Pinsel-

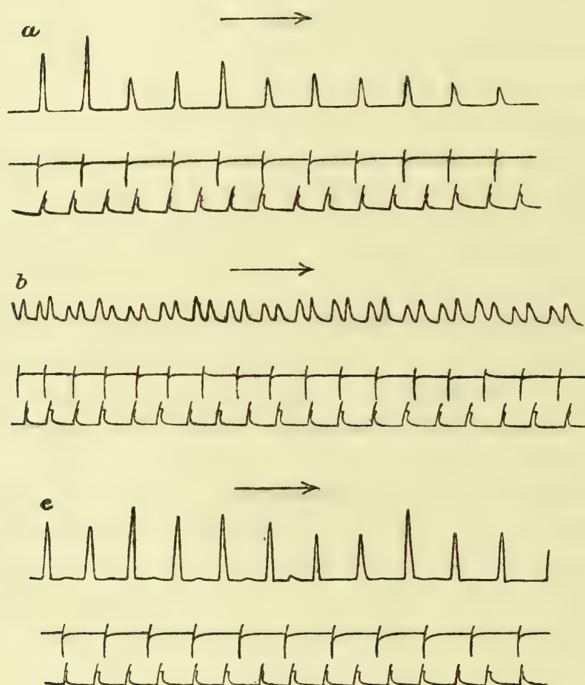
electrodenpaares gereizt wurde. Durch Aufeinanderbeziehung der in der obersten Zeile geschriebenen Muskelcontractionen und der Marken für die Stellung der Rheonombrücke in der zweiten Zeile ergaben sich aus diesen Versuchen Bestätigungen der in den früheren Abhandlungen dieser Untersuchung von mir aufgestellten Zuckungsgesetze.[1] Bekanntlich wurde der Nerv von mir in Strecken abgetheilt, deren jede wieder in einen oberen und einen unteren Pol zerfiel, welche beide Pole in einem etwa in der Mitte der Strecke gelegenen Aequator zusammenstiessen. Im oberen Pol jeder Strecke waren die absteigenden, im unteren Pol die aufsteigenden Ströme wirksamer, am Aequator beide gleich wirksam. Der Unterschied in der Wirksamkeit der beiden Stromrichtungen betrug an den Enden der Pole viel mehr, als das Maximum der Zuckung, nahm gegen den Aequator zu immer mehr ab, bis er in ihm endlich ganz verschwand.

Die Giltigkeit dieser Gesetze will ich durch Mittheilung einiger Curven nunmehr auch auf Reizung durch lineare Stromschwankungen ausdehnen. In Holzschnitt 3 lagen, als *a* geschrieben wurde, die Electroden an einer Stelle des oberen Poles, als *b* geschrieben wurde, lagen sie am Aequator, und als *c* geschrieben wurde, an einer Stelle des unteren Poles der untersten, an den Muskel grenzenden Strecke des Nerven. Da die Marken in der mittleren Zeile den Beginn des im Nerven absteigenden Stromes bedeuten, so sieht man leicht, dass in *a* die Zuckung etwas nach Beginn dieses Stromes eintrat, während in *c* der Beginn der Zuckung etwas hinter die

[1]) Bezüglich eines Theiles dieser Gesetze hat mir Herr Hermann in Zürich die Priorität streitig gemacht und sie sich vindicirt. Diesen Theil — allerdings nur ein kleiner Theil der von mir aufgedeckten Beziehungen — nimmt Herr Hermann für sich in Anspruch, insoferne er früher gesagt hat, dass bei „unterer Stromlage" aufsteigende Ströme sich wirksamer erwiesen haben, bei „oberer Stromlage" absteigende. Vor nunmehr 30 Jahren hat bereits Helmholtz hiehergehörige Beobachtungen publicirt, hat sich aber zur Aufstellung eines Gesetzes nicht veranlasst gesehen. Herr Hermann hat den Helmholtz'schen analoge Beobachtungen gemacht, sie jedoch in Form eines „Gesetzes" gebracht. Wie aus seiner Abhandlung hervorgeht, hat er am abgeschnittenen Nerven gearbeitet, und zwar an einem circa 60 mm langen Stücke, das also jedenfalls beide unteren Strecken enthielt, so dass der von ihm ausgesprochene Satz falsch ist, denn der obere Pol der untersten Strecke ist doch eine „untere Stromlage" im Vergleich mit dem unteren Pol der mittleren Strecke, und doch sind am ersteren absteigende, am letzteren aufsteigende Ströme wirksamer. Hätte ich seiner Zeit vermuthen können, dass Herr Hermann bei dieser Beschaffenheit seines Antheiles am neuen Zuckungsgesetz denselben dennoch hervorgehoben wünscht, so hätte ich gewiss nicht unterlassen, ihm zu willfahren.

Mitte zwischen zwei Marken der mittleren Zeile fällt, also in den Beginn des im Nerven aufsteigenden Stromes. In *b* endlich sieht man beide Stromrichtungen gleich wirksam. Die ganz schwachen

Fig. 3.



Zuckungen in *c* entsprechen beginnenden Wirkungen des absteigenden Stromes und haben also dieselbe Lage zu den Strommarken, wie die starken Zuckungen in *a*. Diese Tracés sind mittelst des am Pflüger'schen Myographium angebrachten Hebelwerkes bei mässiger Belastung geschrieben; ebenso Fig. 1 auf Taf. XVII, welche ein analoges Verhalten für die unterste und die mittlere Strecke eines und desselben Präparates darstellt. Der Aequator wurde blos für die mittlere Strecke gesucht, oberer und unterer Pol hingegen an beiden Strecken nachgewiesen. Fig. 2 derselben Tafel zeigt ebenfalls das Resultat der Abtastung einer Nervenstrecke mit einem Electrodenpaar. Die Buchstaben *o*, *m*, *u* bedeuten: Oberer Pol, Aequator (Mitte), unterer Pol. Würde man die Zeichnungen für *O* und *U* so aufeinanderlegen, dass die in der mittleren Zeile geschriebenen

Strommarken einander decken, so würde man die vom Aequator aus gewonnene Zeichnung erhalten. Eine grössere Zahl von Curven zum Beleg für dieses Gesetz zu geben, halte ich für überflüssig. Nur Fig. 3, Taf. XVII theile ich noch mit, weil sie von einem anderen Muskel als dem gewöhnlich verwendeten, nämlich von dem *M. tibialis posticus* des Frosches herrührt. Der erste Theil (*o*) ist durch Reizung des oberen Pols der untersten Strecke, der zweite (*u*) vom unteren Pol derselben gezeichnet; auch ist an den Zeitmarken in der untersten Zeile (welche, wie immer, Secunden bedeuten) ersichtlich, dass, während vom oberen Pol aus gereizt wurde, die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel gesteigert wurde; es geschah dies, um eine hier sehr auffallende Erscheinung, die längere Dauer der Zusammenziehung, welche der wirksameren Stromrichtung entspricht, noch deutlicher hervortreten zu lassen. Am unteren Pole ist sogar dieser Unterschied in der Dauer der Zusammenziehungen viel deutlicher als der in ihrer Höhe; offenbar wäre auch letzterer viel schärfer hervorgetreten, wenn mit noch flacheren Stromschwankungen gereizt worden wäre. Diese Curve ist auch nicht wie die bisher mitgetheilten mit dem gewöhnlichen Schreibhebel gezeichnet, sondern es griff der Muskel mittelst eines sehr leichten (aus Aluminium gearbeiteten) Gehänges an dem freien Ende einer schwachen Fischbeinfeder an, welches eine aus einem Stück Federpose gemachte Schreibspitze trug — die Zusammenziehungen sind also in natürlicher Grösse aufgeschrieben. Diese Schreibweise — in der geschilderten Form von Brücke in seiner Arbeit „über willkürliche und krampfhafte Bewegungen"[1]) beschrieben — hat natürlich grosse Vorzüge, wenn es sich darum handelt, die Form der Zusammenziehung möglichst wenig entstellt wiederzugeben.

Ich möchte auf das, was uns Fig. 3, Taf. XVII, sagt, ein recht grosses Gewicht legen, denn ohne im mindesten eine Deutung der Erscheinung zu wagen, glaube ich mich durch diese selbst schon berechtigt, den Satz auszusprechen, dass die Dauer einer Muskelzusammenziehung nicht nur von den Zuständen, in denen sich der Muskel befindet (Temperatur, Ermüdung u. s. w.) abhängt, sondern auch von der Art des Reizes, der den Nerven trifft, so dass zum Beispiel ein und derselbe Muskel, abwechselnd von indirecten Reizen verschiedener Art betroffen, abwechselnd Zusammenziehungen von verschiedener Dauer auszuführen vermag. Die Reize, welche

---

[1]) Diese Berichte LXXV. Bd., III. Abth. 1877.

bisher bei physiologischen Versuchen den Muskeln durch ihre Nerven zugeführt wurden, waren an den Nerven immer durch Stromschwankungen von merklich unendlicher Steilheit hervorgerufen worden, und wir lernen hier durch die Anwendung des Rheonoms eine neue Abhängigkeit der Reizwirkung von der Beschaffenheit des Reizes kennen, welche gewiss von Bedeutung ist für das Verständniss der willkürlichen Contractionen der Muskeln. Es lassen sich vielleicht diese letzteren auch verstehen von den bisher üblichen Vorraussetzungen aus: Dass wir etwa 20 Einzelreize in der Secunde unseren Muskeln zusenden, und dass diese auf jeden isolirten solchen Reiz mit einer Zuckung von bestimmter Dauer antworten, die sich gleich bleibt, so lange der Muskel sich gleich bleibt (nicht ermüdet u. dergl.) — da wir aber nun einmal wissen, dass die Dauer der Einzelzusammenziehung so sehr von der Natur des durch den Nerven zugeleiteten Reizes abhängt, so haben wir kein Recht mehr, die Dauer der einzelnen Zusammenziehungen, aus denen sich der Tetanus bei unseren willkürlichen Bewegungen zusammensetzt, gerade so gross anzunehmen, wie die Dauer der Zusammenziehung des Muskels ist, wenn sein Nerv von einem Inductionsschlag oder einer plötzlichen Stromschliessung oder -öffnung betroffen wurde — und es ist klar, dass sich die vielen und complicirten Fragen, welche sich an den Vorgang der willkürlichen Bewegung knüpfen, viel leichter beantworten lassen, wenn die Dauer der Einzelcontraction als eine mit der Art des Reizes veränderliche Grösse zur Verfügung steht. Ich begnüge mich damit, hier auf die Consequenzen und die Tragweite der angeführten Beobachtung hingedeutet zu haben, da ich ja im weiteren Verlaufe dieser „Untersuchungen“ noch mehrfach auf diese Verhältnisse zu sprechen kommen werde.

Nachdem so das Gesetz der Strecken und Pole und des Aequators mittelst des Rheonoms bestätigt ist, schliesst sich passend hier der Nachweis des Wanderns des Aequators durch dieselbe Methode an. Ich habe gezeigt, dass am unversehrten Thiere die Aequatoren in den Nerven ziemlich feste Lagen haben, dass jedoch der Aequator durch Zerschneidung des Nerven im Nerven verschoben wird — und zwar im Allgemeinen gegen das periphere Ende des Nerven, d. h. gegen den Muskel hin, so dass nach einiger Zeit das ganze noch am Muskel befindliche Stück des Nerven die Bedeutung eines oberen Poles gewinnt.

Schon damals versuchte ich das zeitliche Moment dieser Bewegung zu berücksichtigen und fand, dass gewöhnlich der Aequator unmittelbar nach der Durchschneidung des Nerven seine Wanderung

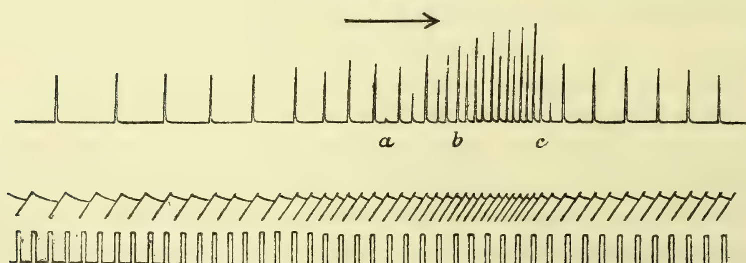
nach abwärts beginnt und sie mit einer mässigen Geschwindigkeit fortsetzt. Man kann natürlich nicht mit den Electroden dem Aequator nachlaufen, sondern muss sie am Nerven liegen lassen. Man legt sie also an den unteren Pol und während man von Zeit zu Zeit mit entgegengesetzten Strömen reizt, sieht man den Aequator durch die Region der Electroden durchwandern, indem nun beide Ströme gleich hohe Zuckungen geben, dann sieht man die Zuckung des absteigenden Stromes das Uebergewicht gewinnen und dieses Uebergewicht mit der Zeit immer beträchtlicher werden. Aus dem allmäligen Zunehmen der Wirkung des absteigenden und dem Abnehmen der Wirkung des aufsteigenden Stromes auf eine und dieselbe Stelle des Nerven kann man dann ermessen, wie weit diese Stelle allmälig vom Aequator weg und in den oberen Pol hinein rückt. Diese Versuche machen sich mit dem Rheonom gewissermassen von selbst, da ja durch dieses dem Nerven fortwährend abwechselnd gerichtete Reize zugeführt werden. Fig. 4, Taf. XVII, illustrirt diese Verhältnisse. Da die Schreibspitze des Muskels und die Spitze, welche den Beginn des absteigenden Stromes im Nerven markirt, bei diesem Versuche nicht genau vertical über einander lagen, so habe ich die Ordinaten in richtiger Schiefe, wie sie nach Beendigung des Versuches ermittelt wurde, in das Tracé hineingezeichnet. Man sieht — wie bei allen hier mitgetheilten Curven l i n k s beginnend und im Sinne des Pfeiles lesend — dass die Electroden im unteren Pole liegen, denn der absteigende Strom, dessen Beginn in der zweiten Zeile markirt wird, löst die schwächere Zuckung aus; man sieht auch, dass der Aequator nicht weit oberhalb der Electroden liegt, denn der aufsteigende Strom, dessen Beginn in die Mitte zwischen je zwei Marken der zweiten Zeile fällt, löst nur eine um weniges höhere Zuckung aus, als der absteigende. In dem in der Figur durch ein $\times$ bezeichneten Momente wurde der Nerv oberhalb der Electroden mittelst einer scharfen, benetzten Scheere mit einem raschen Schlage durchschnitten, so dass sich der Nerv auf den Electroden nicht verschob. Man sieht eine Andeutung der Wirkung dieses Scheerenschlages, welche übrigens theilweise mit einer vom Rheonom ausgelösten Zuckung zusammenfällt im Tracé des Muskels, sieht ferner, dass einen Moment lang die Gegend der Electroden mit der Lage des Aequators zusammenfällt, und dass die Electroden schon im nächsten Momente über dem Aequator liegen, denn bereits überwiegt die Wirkung des absteigenden Stromes und dieses Ueberwiegen wird während der nächsten Viertel-Minute immer beträchtlicher. So regelmässig, wie in Fig. 4, verlaufen übrigens die Erscheinungen nicht

immer und ich muss diesbezüglich auf das in meiner II. Abhandlung Gesagte verweisen.

In Fig. 5, Taf. XVII ist ein ähnlicher Versuch dargestellt, die Zusammenziehungen des Muskels dauern hier so lange, wie eine ganze Umdrehung des Rheonoms. Man sieht aber leicht, dass zu Beginn die Electroden im unteren Pole liegen, dass aber nach der wieder durch ein × bezeichneten Durchschneidung des Nerven oberhalb der Reizstelle der Aequator sofort tief unter letztere herabgerückt ist, ohne dass sich der Process des Wanderns wie in Fig 4, Taf. XVII verfolgen liesse. Ich will mich jedoch bei diesen Erscheinungen, denen ich bisher nur eine geringe Aufmerksamkeit widmen konnte, nicht länger aufhalten und gehe nun über zur Beschreibung eines sehr auffallenden Verhaltens der Nerven und Muskeln.

Wir reizen einen in bekannter Weise präparirten Nerven an einer vom Aequator verschiedenen Stelle mittelst des Rheonoms, indem wir die Rotationsgeschwindigkeit des letzteren allmälig ansteigen lassen. Hiebei kommen wir bald zu einer Geschwindigkeit, bei welcher der für den betreffenden Pol des Nerven wirksamere Strom während seines Anschwellens eine Zuckung des Muskels bewirkt und zwar eine minimale Zuckung. Die Höhe dieser Zuckung wächst mit zunehmender Steilheit der Stromschwankungen, das heisst mit zunehmender Rotationsgeschwindigkeit des Rheonoms, und wird endlich maximal. Schon vorher oder aber bei nachträglich immer gesteigerter Rotationsgeschwindigkeit fangen die ungünstig gerichteten

Fig. 4.



Ströme auch an wirksam zu werden, und zwar zunächst wieder in minimalen Zuckungen, die mitten zwischen je zwei maximale, von der günstigen Stromrichtung ausgelöste, hineinfallen. Bei immer weiter gesteigerter Rotationsgeschwindigkeit werden endlich auch diese der minder wirksamen Stromrichtung ihre Entstehung ver-

dankenden Zuckungen maximal, und das merkwürdige Verhalten, von dem ich sprechen will, besteht eben darin, dass dieses Maximum welches von der ungünstigen Stromrichtung hervorgebracht wird, sehr oft höher ist, als das von der günstigen Stromrichtung hervorgebrachte.

Holzschnitt 4 ist eine Darstellung eines solchen Falles — wie alle in dieser Abhandlung mitgetheilten Holzschnitte und Lithographieen so entstanden, dass die auf berusstes Glanzpapier geschriebenen Tracé's mit Schellackfirniss fixirt und dann im Sonnenlichte auf lichtempfindliches Papier copirt wurden. Dem Holzschneider und dem Lithographen wurden dann direct die zur Veröffentlichung bestimmten Stücke dieser Copien übergeben. In Fig. 4 bedeuten die Segmente der untersten Zeile wieder Secunden; die Strom-Marken in der zweiten Zeile wurden aber hier bei jeder Nullstellung der Brücke geschrieben, so dass nicht nur der Beginn des absteigenden, sondern auch der des aufsteigenden Stromes verzeichnet ist. Die Dichtigkeit der Vertheilung der Strommarken giebt ein recht anschauliches Bild von der jeweiligen Rotationsgeschwindigkeit des Rheonoms, also auch von der Steilheit der Stromschwankungen, deren absolute Höhe natürlich constant ist. Man sieht, dass ich in dem Versuche, der im Holzschnitte Fig. 4 dargestellt ist, die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rheonoms ganz allmälig gesteigert und dann ziemlich jäh wieder vermindert habe. Die von der wirksamen Stromrichtung herrührenden Zuckungen sind im ganzen Tracé maximal oder fast maximal. Der allmälig gesteigerten Steilheit der Stromschwankungen entspricht das allmälige Heranwachsen der der ungünstigen Stromrichtung entsprechenden Zuckungen, deren erste Spur bei *a* erscheint. Bei *b* erreichen diese Zuckungen die anderen und wachsen dann hoch über sie hinaus, fallen dann bei *c*, sobald die Rotationsgeschwindigkeit vermindert wird, rasch ab und verschwinden sofort gänzlich. Nach dem eben zur Erklärung dieses Holzschnittes Gesagten wird es dem Leser weiter keine Mühe machen, sich in den Figg. 6, 7 und 8[1]) der Tafel zurechtzufinden. Diese Tracé's sind alle mit dem Schreibhebel gezeichnet. Figg. 9 und 10 sind jedoch entstanden, als der Muskel wie bei den Figg. 3, 4 und 5 vermittelst der Fischbeinfeder zeichnete. Die Figg. 9 und 10 scheinen nichts Besonderes zu lehren, ich theile sie jedoch mit, weil ich in der Lage bin, zu sagen, dass Fig. 9 vom oberen Pol der untersten

[1]) Die Punkte in den Figg. 8 und 9 habe ich zur leichteren Orientirung über die Köpfe derjenigen Zuckungen gesetzt, welche von der minder wirksamen Stromrichtung hervorgerufen sind.

Strecke und Fig. 10 (an einem anderen Präparate) vom unteren Pol derselben Strecke aus geschrieben sind. Es scheint mir diese Bemerkung wichtig, weil sie den naheliegenden Versuch, die uns beschäftigende Erscheinung aus den bekannten Lehren des Elektrotonus zu erklären, vereitelt. Ueberhaupt dürfte ein vollkommenes Verständniss dieser gewiss sehr auffallenden Erscheinung auf erhebliche Schwierigkeiten stossen, mir wenigstens ist keine von den Vermuthungen, die sich mir beim Nachdenken über selbe darboten, auch nur der Erwähnung an dieser Stelle werth erschienen. Nur den Hinweis möchte ich mir erlauben, dass die Phänomene der übermaximalen Zuckung vielleicht in Verbindung mit unserem Phänomene stehen möchten.

Wenn ich nun zur Darstellung jener Rheonom-Versuche schreite, welche sich auf die Ausbildung einer dauernden Zusammenziehung des Muskels durch rasche Aufeinanderfolge der ihn vom Nerven her treffenden Reize beziehen, so gelange ich hiemit auf ein Gebiet, auf welchem meine Erfahrungen mich soweit abführen von den Resultaten, zu denen die ausgezeichnetsten Forscher mit den besten Mitteln gelangt sind, dass ich ein Bedürfniss fühle, von vornherein den — später zu begründenden — Umstand zu betonen, dass diese grosse Discrepanz nur eine scheinbare ist, und dass durch meine Resultate die Richtigkeit der Beobachtungen, sowie die Giltigkeit der Schlüsse meiner Vorgänger nicht erschüttert wird.

Die Dauercontractionen, welche ich beobachtet habe, sind das Resultat von höchstens 10 Einzelreizen in der Secunde, oft aber auch von weit weniger Reizen per Secunde. Grössere Umdrehungsgeschwindigkeiten kann ich meinem Rheonom einstweilen nicht ertheilen, ohne dass ein Schleudern und Spritzen der Zinklösung in der Kreisrinne und somit Unregelmässigkeiten wenn nicht Unstetigkeiten der Stromschwankungen eintreten; doch lasse ich am Rheonom eine der ersten Kreisrinne concentrische mit viel kleinerem Radius anbringen, welche die Anwendung grösserer Rotationsgeschwindigkeiten ermöglichen wird.

Bei dem (oben erwähnten) Umstande, dass die von linearen Stromschwankungen ausgelösten Muskelzusammenziehungen oft viel längere Dauer haben als die durch einen Inductionsschlag oder die plötzliche Schliessung eines Kettenstromes ausgelösten, darf es nicht wundern, dass ich selbst bei den grossen von mir angewendeten Reizintervallen ein Zusammenfliessen der Wirkungen der einzelnen Reize beobachten konnte. Dieses Zusammenfliessen erfolgte jedoch nicht nach dem Gesetze, welches den analogen Vorgang beherrscht

bei Anwendung der bisher bekannten elektrischen Reizmethoden. Dieses Gesetz ist das von Helmholtz aufgestellte Gesetz der Summation der Zuckungen. Nach diesem Gesetze wirkt der zweite maximale Reiz, der den Muskel trifft, ehe an diesem die Wirkung des ersten abgelaufen ist, so auf den Muskel, als wäre die Länge, die der Muskel hat, in dem Momente, in welchem ihn der zweite Reiz erregt, seine natürliche Länge, und von dieser Länge aus findet nun eine Contraction statt von dem Betrage (oder fast von dem Betrage) der maximalen Zuckung. Hiernach heben zwei maximale Reize, die mit ihren Effecten im Muskel einander theilweise decken, die Last höher, als ein maximaler Reiz dies gethan hätte.

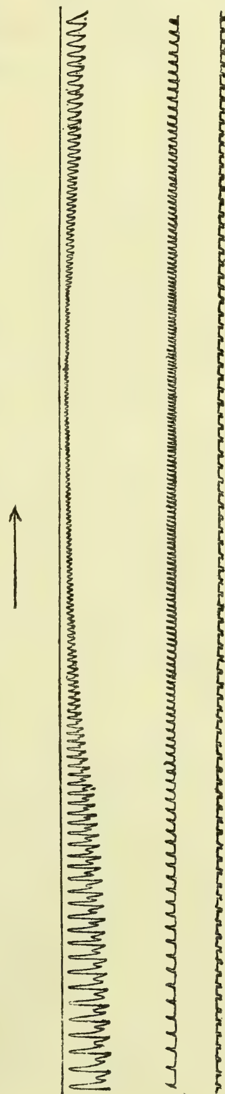


Fig. 5.

Das Gesetz, nach welchem das Zusammenfliessen der durch lineare Stromesschwankungen ausgelösten Zusammenziehungen erfolgt, lautet so:

Der zweite Reiz bringt den Muskel von dem Contractionszustande, in dem er ihn trifft, in denjenigen, in welchen er ihn auch gebracht hätte, wenn er ihn in erschlafftem Zustande gefunden hätte.

Der Holzschnitt, welchen ich hieher setze, illustrirt und begründet den eben ausgesprochenen Satz ohne weiters. In der untersten Zeile sind Secunden markirt, in der zweiten wie gewöhnlich ganze Umdrehungen des Rheonoms, und zwar immer in den Momenten des Beginnes des im Nerven absteigenden Stromes. Der das Rheonom speisende Strom wurde von einer zwanziggliedrigen Noë'schen Thermosäule in Sternform geliefert. Zwischen die Electroden war fast die ganze unterste Strecke mit Ausschluss des unteren Endes des unteren Poles gefasst, so dass die Reaction des oberen Poles vorwiegt. Der Muskel griff an der Fischbeinfeder an. Durch allmälig gesteigerte und dann wieder verminderte Umdrehungsgeschwindigkeit des Rheo-

noms[1]) wurden die Reize immer näher aneinander und ihre Effecte immer tiefer in einander hineingeschoben und später wieder auseinandergezogen. Die Gipfel der Zuckungscurven wurden hiedurch aber nicht erhöht, sondern nur einander genähert; und erhöht wurden nur die Thäler zwischen ihnen. In ganz analoger Weise sind die Tracé's von Figg. 11, 12 und 13 der Tafel entstanden. Die den Abscissen parallelen Linien über den Muskeltracé's sind nachträglich gezogen, behufs leichterer Abschätzung der Zuckungshöhen.

Von den — überhaupt nur geringen — Abweichungen einer die Curvengipfel verbindenden Linie vom Parallelismus mit der Abscisse, als welchen das oben ausgesprochene Gesetz postulirt, erklären sich die meisten aus den von Kronecker aufgedeckten Gesetzen der Ermüdung und Erholung des Muskels.

Man stelle sich die durch eine einzige lineare Stromschwankung hervorgerufene Zusammenziehung als Myogramm auf weisses Papier geschrieben vor und denke sich die von der Curve und der Abscisse eingeschlossene Fläche aus dem Papier ausgeschnitten; und dann noch eine Anzahl mit der ersten congruente Silhouetten. Diese Silhouetten lege ich mit ihren geraden Rändern, eine hinter die andere längs einer geraden Linie in eine Reihe auf einen schwarzen Grund. Ich erhalte so ein Bild, welches identisch ist mit demjenigen, welches der Muskel, von solchen linearen Stromschwankungen periodisch gereizt, gezeichnet hätte. Will ich hieraus das Bild gewinnen, welches bei rascherer, eine Interferenz bedingender Frequenz der Reize entstehen würde, so habe ich nur die Silhouetten näher aneinander zu schieben, so dass die Blätter einander theilweise decken.

Will man diese Versuche nachahmen, so unterlasse man nicht, den Muskel durch eine Feder zu spannen. Wollte man die Spannung durch ein Gewicht herstellen und mit dem Schreibhebel arbeiten, so könnten Missverständnisse eintreten; ein ziemlich grelles Beispiel eines solchen repräsentirt Fig. 14. Sie wurde mit einem Schreibhebel gezeichnet und es fand heftiges Schleudern statt, wofür die Doppelzuckungen am Anfange schon ein Zeugniss abgeben, die bekanntlich der Reizung des Muskels durch das fallende Gewicht ihre Entstehung verdanken. Je stärker sich der „Tetanus“ ausbildet, ein desto geringeres Schleudern findet statt, und so scheint die Höhe der gedrängten Gipfel beträchtlich geringer als die der isolirten

[1]) Die Reaction des absteigenden Stromes wird hiedurch nicht alterirt bezüglich der Zuckungshöhe, da diese im ganzen Versuch maximal bleibt — die des aufsteigenden Stromes bleibt in diesem Versuch untermaximal.

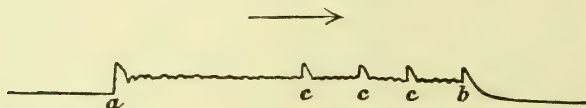
Zusammenziehungen, während sie in Wirklichkeit dieser gleich ist, was man an den Stufen im zweiten Theile des Tracé's recht gut bemerken kann.

Aus dem bisher Gesagten folgt ohne weiteres, dass der Effect einer linearen Stromschwankung, welche den Muskel (indirect) in dem Moment reizt, in welchem er durch eine vorangegangene analoge Reizung auf's Maximum verkürzt war, nicht in der Hervorbringung einer weiteren Verkürzung, sondern in dem Festhalten des Muskels in seiner verkürzten Gestalt besteht. Berücksichtigt man hiebei den pag. 329 dargelegten Umstand, dass die Gesammtdauer einer Muskelcontraction und insbesondere die Zeit, während welcher der Muskel auf dem höchsten Grade der Verkürzung verweilt, die er durch einen bestimmten Reiz erfährt, sehr wesentlich von der Natur des Reizes abhängt, so begreift man leicht, dass für die Umstände, unter denen die sämmtlichen hier angezogenen Gesetze gelten, also für Reize, welche so wirken wie lineare Stromschwankungen gewisser Steilheit, das Zustandekommen einer Dauercontraction, eines „Tetanus" von gleicher Höhe mit der Höhe einer maximalen Zuckung selbst bei verhältnissmässig geringer Reizfrequenz sich leicht und vollständig erklärt. Nun gilt aber der oben ausgesprochene Satz: „Der zweite Reiz bringt den Muskel von dem Contractionszustande, in dem er ihn trifft, in denjenigen, in welchen er ihn auch gebracht hätte, wenn er ihn in erschlafftem Zustande gefunden hätte" nicht nur für lineare Stromschwankungen, welche als Reize vermöge ihrer Steilheit den Muskel zu einer Maximalzusammenziehung veranlassen, sondern für alle linearen Stromschwankungen, welche den Muskel einzeln überhaupt zu irgend einem Grade der Verkürzung veranlassen. Wiederholen sich also solche lineare Stromschwankungen, welche als untermaximale Reize wirken, im Nerven mit hinreichender Frequenz, so wird der Muskel, nach unserem Satze, sich dauernd auf einer Höhe der Zusammenziehung halten, welche untermaximal ist, und zwar auf jeder beliebigen untermaximalen Höhe zwischen Null und der maximalen, je nach der Höhe der Zusammenziehung, die eine einmal applicirte solche Stromschwankung hervorbringt. Durch einen allmäligen Uebergang der aufeinanderfolgenden Stromschwankungen von einer gewissen Steilheit zu einer anderen wird der Muskel zu einem allmäligen Uebergange aus der Erschlaffung oder aus irgend einem Contractionszustande in einen anderen Contractionszustand veranlasst werden, und zwar wird Amplitude und Geschwindigkeit der hiebei vom Muskel ausgeführten Bewegung ganz von der Anfangs- und Endsteilheit und von

der Geschwindigkeit, mit der die eine in die andere übergeht, abhängen.

In Holzschnitt 6 sieht man einen Muskel dauernd etwa auf halber Höhe seiner maximalen Zuckung verharren. Das erste Stück bis *a* zeichnete der vollkommen erschlaffte Muskel, von dem die linearen Stromschwankungen des Rheonoms durch einen du Bois-Reymond'schen Schlüssel abgeblendet waren. Bei *a*, Oeffnung des

Fig. 6.



Schlüssels und plötzliches Hereinbrechen eines Stromes von der Intensität, wie sie eben durch die im Moment *a* vorhandene Stellung der Brücke bedingt ist; daher maximale Zuckung — dann Uebergang zu einer dauernden Zusammenziehung von mittlerer Höhe, auf welche absichtlich durch plötzliches Schliessen und Oeffnen mit dem Schlüssel in den Punkten *c* Maximalzuckungen aufgesetzt wurden, bei *b* Schliessung des Schlüssels, welche eine Oeffnungszuckung veranlasst und dann Rückkehr zur Abscisse.

In Fig. 15, Taf. XIX, welche auf ganz analoge Weise entstanden ist, bedeuten die Buchstaben: *a* gänzliche Erschlaffung, *b* Zusammenziehung auf mittlere Höhe, *c* einzelne aufgesetzte maximale Zuckungen, *d* eine am Schlusse des Versuches durch Momentanreiz ausgelöste maximale Zuckung.

Beim Zeichnen von Fig. 16 wurde der Stromwähler in Anwendung gezogen und eine zwanziggliedrige Noë'sche Thermosäule, deren Glieder also in beliebiger Anzahl eingeschaltet werden konnten. Die unter die einzelnen Theile des Tracé's geschriebenen Zahlen bedeuten die Anzahl der zur Reizung mittelst Rheonoms eingeschalteten Thermoelemente. Man sieht hier nacheinander den Muskel auf verschiedenen Graden der Zusammenziehung verharren, entsprechend den verschiedenen Reizeffecten der linearen Stromschwankungen. In Fig. 17 endlich ist durch ein Beispiel jener Vorgang, der schon oben analysirt wurde, illustrirt, bei welchem der Muskel aus einem Contractionszustande in einen anderen übergeht, synchronisch mit dem Uebergange der seinen Nerven treffenden, linearen Stromschwankungen von einem Grade der Steilheit zu einem anderen 2·5 Mm. der Abscisse entsprechen hier einer Secunde. Bei *a* wird die Anzahl der das Rheonom speisenden Thermoelemente plötzlich

von 6 auf 20 gesteigert und nun ganz allmälig durch succesive Ausschaltung der einzelnen Elemente bis auf Null herabgebracht.

Nach allem hier Mitgetheilten haben die Reactionen des Muskels auf lineare Stromschwankungen die grösste Aehnlichkeit mit seinen Leistungen bei dem natürlichen Gebrauche unserer Bewegungswerkzeuge und die „milderen" Reize des Nerven durch Stromschwankungen von merklich endlicher Steilheit haben jedenfalls vor den grellen Reizen durch Inductionsschläge und plötzliche Stromschliessungen und -Oeffungen das voraus, dass sie am Muskel Veränderungen hervorbringen, welche den im engeren Sinne physiologischen Functionen desselben näher stehen.

Aber auch noch in einer anderen Beziehung ist die Verwandtschaft meiner Reizmethode mit der physiologischen nachweisbar. Während nämlich die durch Schliessungs- und Oeffnungsreize und die durch Inductionsreize hervorgerufene Zuckung oder Dauercontraction secundäre Zuckung und secundären Tetanus in einem Nervenmuskelpräparat hervorrufen, bleiben diese Phänomene bei der willkürlichen und überhaupt bei jeder vom Centrum aus hervorgebrachten Muskelverkürzung aus und nur in gewissen bekannten Ausnahmsfällen tritt eine secundäre Wirkung ein. Das Ausbleiben der secundären Wirkung ist nun auch den durch die Thätigkeit des Rheonoms hervorgebrachten Muskelzusammenziehungen eigenthümlich. Weder geben die durch eine einmalige Reizung hervorgebrachten Einzelcontractionen, selbst wenn sie maximal sind und sich in nichts von Einzelcontractionen zu unterscheiden scheinen, die unmittelbar vorher und nachher am selben Präparate durch einen Inductionsschlag hervorgerufen werden, eine secundäre Zuckung, noch giebt die Dauercontraction, durch eine Reihe solcher „milder" Reize hervorgerufen, einen secundären Tetanus. Erst bei sehr stark übermaximaler Stromschwankungssteilheit beginnt das Phänomen der secundären Wirkung aufzutauchen.

Da ich mich in dieser Abhandlung möglichst auf die Mittheilung von Thatsachen beschränken möchte, so unterlasse ich jede weitere Beziehung auf die Erklärung der willkürlichen Bewegungen und auch jede Vergleichung meiner Anschauungen mit denen anderer Autoren — bin ich doch in der angenehmen Lage, trotz der Eigenartigkeit der beobachteten Erscheinungen mit keinem einzigen Autor in Widerspruch zu gerathen, da sich die grossen Differenzen in den Resultaten ganz aus den Differenzen in der Versuchsanordnung erklären.

VII. Abhandlung.

Die Erregung stromloser Nerven.

(Aus dem LXXXVIII. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. III. Abth. Juli-Heft. Jahrg. 1883.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 5. Juli 1883.)

(Mit 2 Holzschnitten.)

In der ersten[1]) und zweiten,[2]) sowie in der sechsten[3]) Abhandlung dieser Untersuchungen habe ich ein Zuckungsgesetz rein empirischer Natur aufgestellt — das heisst: ich habe den Versuch gemacht, einen möglichst allgemeinen und kurzen Ausdruck für Thatsachen zu finden, welche sämmtlich unmittelbar durch die Erfahrung am Nerven gewonnen waren, ohne gleichzeitig Vermuthungen über die Natur und die Begründung dieser Thatsachen zu äussern, und ohne irgendwelche Consequenzen aus ihnen zu ziehen.

Ich sah mich genöthigt, den Nerven in seinem Verlaufe in mehrere „Strecken" einzutheilen, an deren jeder sich dasselbe Zuckungsgesetz wiederholt: Grössere Empfindlichkeit jeder Nervenstelle für Ströme, welche gegen den „Aequator" der betreffenden Strecke zu gerichtet sind, als für entgegengesetzt gerichtete; gleiche Empfindlichkeit für beide Stromrichtungen am Aequator; Zunahme des Unterschiedes in der Empfindlichkeit für die beiden Stromrichtungen mit zunehmender Entfernung vom Aequator.

Diese Eintheilung des Nerven in mehrere Strecken hat sich nun als besonders geeignet erwiesen, Bedenken und Widerspruch hervorzurufen — nicht was die Thatsache selbst anlangt, die von allen Seiten bestätigt wird, sondern mehr in Bezug auf das ihr zukommende Gewicht.

---

[1]) [2]) [3]) Diese Berichte, Bde. 72, 74, 82.

Besonders hat man versucht, die Eigenschaft der Strecken auf den Umstand zurückzuführen, dass überall da, wo ich die Grenze zwischen zwei Strecken hinverlegt hatte, also an den „Folgepunkten", der Nerv anatomisch durch irgend etwas charakterisirt ist, entweder durch den Abgang grösserer Aeste, oder durch die Vereinigung der motorischen mit der sensorischen Wurzel, oder durch den Eintritt in den Muskel. Aus diesen Verhältnissen hat man durch Schlüsse, die sofort näher beleuchtet werden sollen, die Existenz von schwachen Strömen abzuleiten versucht, derartige Ströme auch experimentell nachgewiesen, und nun aus ihnen auf verschiedene Weise das eigenthümliche Verhalten der Strecken zu erklären getrachtet.

Besonders ausgeführt findet sich ein solcher Versuch in P. Grützner's Abhandlung:[1]) „Beiträge zur allgemeinen Nervenphysiologie."

Obwohl ich nun jede Begründung der merkwürdigen von mir beschriebenen Eigenschaften des Nerven aus anatomischen und physiologischen Verhältnissen für einen grossen Gewinn ansehe, so glaube ich doch meine Bedenken gegen die bisher versuchte Begründung nicht unterdrücken zu dürfen.

Ich selbst bin gleich zu Beginn meiner Arbeiten, sobald mir jene merkwürdigen Eigenschaften des Nerven bekannt geworden waren, auf diese Erklärung und Begründung derselben verfallen, habe sie aber sehr bald in Folge von Versuchen, die weiter unten erwähnt werden sollen, wieder aufgegeben.

Wenn ich nun im Folgenden mich ausschliesslich gegen den in der oben citirten Schrift Grützner's enthaltenen Erklärungsversuch wende, so geschieht dies, weil ich in den Ausführungen dieser sehr lesenswerthen Abhandlung eine wohl durchdachte, auf experimentelle Basis gegründete, und überhaupt die beste mir bekannt gewordene Darstellung des ganzen Argumentes erblicke.

Dieses selbst lautet nun folgendermassen. Von jedem künstlichen Querschnitte eines Nerven geht — wir wir durch E. du Bois-Reymond wissen — ein Strom durch den Nerven selbst zu einem jeden beliebigen Punkte seiner natürlichen Oberfläche, welcher Strom dann im ableitenden Bogen vom „Längsschnitte" zum Querschnitte zurückkehrt. Dieser Strom entsteht als solcher selbstverständlicher Weise erst in dem Momente, in welchem der ableitende Bogen dem Nerven angelegt wird.

---

[1]) Pflüger's Archiv, Bd. XXVIII, pag. 130—179. Bonn 1882.

Es ist für das Entstehen des gedachten Stromes gleichgiltig und nur für seine Stärke von Bedeutung, welcher Art der angelegte ableitende Bogen ist, und in welcher Weise er angelegt wird. Wäre etwa der mit einem Querschnitte versehene Nerv ringsum von feuchten indifferenten thierischen Geweben umhüllt, so hätte man sich ihn vorzustellen als durchzogen von Stromfäden, die vom Querschnitte ausgehend in ihm verlaufen und — die einen näher, die anderen weiter entfernt vom Querschnitte — durch alle Punkte seiner Oberfläche aus ihm austreten, um dann im umgebenden Gewebe in Bahnen, welche aus bekannten physikalischen Gesetzen für bestimmte einzelne Fälle der Gestaltung des umgebenden Leiters berechnet werden können, zum Querschnitte zurückzukehren.

Sind aber einem solchen Nerven, der im Uebrigen frei präparirt gedacht wird, statt der ihn allseitig umhüllenden feuchten Gewebe nur an zwei Punkten, respective kleinen Stellen seines Verlaufes Elektroden angelegt, die unter einander auf irgend eine Weise leitend verbunden sind, so werden sich allerdings nicht die ganzen Spannungsdifferenzen, welche in dem mit einem Querschnitte versehenen Nerven vorhanden sind, durch den ihm angelegten Bogen abgleichen, wohl aber wird sich ein Theil derselben in Form eines constanten Stromes abgleichen, der den Bogen und den zwischen den Elektroden gelegenen Theil des Nerven durchfliesst, und dessen Fäden im Nerven von der dem Querschnitte näher gelegenen Elektrode zur entfernteren hinziehen.

Werden nun diese Elektroden dazu benützt, um dem zwischen ihnen liegenden Stücke des Nerven, behufs der Prüfung seiner Erregbarkeit elektrische Ströme zuzuführen, so werden diese Ströme dem im ganzen Systeme bereits vorhandenen Strome entweder gleich- oder entgegengesetzt gerichtet sein. Gleichgerichtet sind sie, nach dem eben vorgebrachten, wenn sie an der dem Querschnitte näher gelegenen Elektrode in den Nerven eintreten, an der anderen aus ihm austreten; im anderen Falle sind sie entgegengesetzt gerichtet.

Nun ist aber aus zahlreichen früheren Untersuchungen bekannt, dass caeteris paribus Stromstösse, die einen von einem Strome dauernd durchflossenen Nerven treffen, diesen stärker erregen, wenn beide Ströme gleichgerichtet sind; schwächer, wenn sie einander entgegengerichtet sind; oder, wie man es auch ausdrücken kann: erfährt ein einen Nerven durchziehender elektrischer Strom einmal eine plötzliche Zunahme, ein anderes Mal eine ebenso grosse

und rasche Abnahme, so wird der Nerv durch die Zunahme stärker erregt, als durch die Abnahme.

Hieraus ergiebt sich aber, dass ein mit einem Querschnitte versehener Nerv, dem zwei Elektroden angelegt sind, zufolge des ihm wegen des Querschnittes durchfliessenden Stromes, ungleich stark von zwei gleichen Strömen erregt werden muss, die ihm durch jene Elektroden zugeleitet werden, wenn diese beiden Ströme verschiedene Richtung haben; und zwar muss er durch denjenigen Strom stärker erregt werden, welcher an der dem Querschnitte näher gelegenen Elektrode in ihn eintritt.

Von derselben Art, wie diese hier deducirte Ungleichheit, und aus denselben Ursachen herrührend, soll nun nach Grützner's Ansicht auch die Ungleichheit in der Reizwirkung gleich starker, aber entgegengesetzter Ströme sein, welche ich an den „Polen" unzerschnittener Nerven erhielt. Die Rolle, welche an unserem Schema der Querschnitt gespielt hat, nämlich: einen constanten Strom im Nerven zu veranlassen, die spielt am unzerschnittenen Nerven jede Stelle, von welcher sich ein Seitenast abzweigt. Bei der Präparation sei es unmöglich, solche Seitenäste nicht entweder in ihrem weiteren Verlaufe abzuschneiden oder doch irgendwie anders zu lädiren, zu zerren, zu quetschen u. s. w. Die Thatsache, dass jede Art der Läsion am Nerven einen ganz ähnlichen Effect hat, wie die Anlegung eines Querschnittes, ist zu bekannt, als dass es nöthig wäre, sie hier noch besonders zu besprechen. Betrachten wir nun ein Stück des unzerschnittenen Nerven, welches zwischen zwei Stellen desselben liegt, deren jede eine ähnliche Rolle spielt wie ein Querschnitt; sei es, weil Aeste, welche von diesen Stellen abgehen, in ihrem weiteren Verlaufe abgeschnitten wurden, oder weil solche Aeste oder die betrachteten Stellen selbst gequetscht oder irgendwie sonst lädirt wurden: so wird ein solches Stück des Nerven alternirend gerichteten, erregenden Strömen gegenüber ein Verhalten darbieten, welches mit dem von mir für eine „Strecke" des Nerven beschriebenen übereinstimmt. Die Thatsache, dass im oberen Pole jeder Strecke absteigende Ströme stärker wirken, im unteren Pole hingegen aufsteigende, wäre also nach Grützner dadurch zu erklären, dass jeder in der oberen Hälfte angelegte Bogen von einem Nervenstrome durchflossen ist, welcher im Nerven absteigt; von zwei gleichen und entgegengesetzten Reizströmen, die nun dem Nerven durch diesen Bogen Versuches halber zugeführt werden, ist der im Nerven absteigende mit dem schon von vornherein in diesem Nervenstücke kreisenden Strome gleichgerichtet,

und wirkt desshalb stärker, als der aufsteigende. Diese Erklärung setzt voraus, dass an den Stellen des Nerven, welche den Enden meiner „Strecken" entsprechen, besondere anatomische Verhältnisse sich vorfinden, welche ein früheres Absterben an diesen Stellen bedingen, oder dass Aeste von da abgehen, die bei der Präparation Läsionen unterworfen sind.

Am unteren Ende meiner untersten „Strecke", also vor dem Eintritte des Nerven in den Muskel, findet eine Theilung des Nerven in zwei Aeste statt, und Grützner meint, es möchte vielleicht schon die hiedurch gebotene grössere Oberfläche ein früheres Absterben bedingen können. Hierin wird man ihm wohl beistimmen. Am oberen Ende dieser „Strecke" gehen die starken Aeste für die Oberschenkelmuskeln ab, und diese leiden gewiss auch bei der sorgfältigsten Präparation. Auch für das obere Ende meiner mittleren „Strecke" nimmt Grützner eine leichte Verletzlichkeit an. Aber in diesen mehr anatomischen Betrachtungen liegt keineswegs der Schwerpunkt der Grützner'schen Beweisführung, sondern vielmehr in dem directen Nachweise solcher Ströme im unzerschnittenen, aufpräparirten Nerven, wie sie eben erforderlich sind, um aus ihnen die Abtheilung des Nerven in Strecken, und die beobachteten Eigenthümlichkeiten im Verhalten der Strecke gegen reizende Ströme zu erklären. Er tastet den Nerven mit einem Paare unpolarisirbarer Elektroden ab und weist an der Boussole regelmässig und mit Deutlichkeit Ströme nach, welche in meinen unteren Polen im Nerven aufsteigen, in den oberen Polen absteigen; da, wo meine Aequatoren liegen, findet er die Nerven stromlos.

Ich habe schon oben bemerkt, dass diese Erklärungsweise mir gleich nach der Constatirung meines Zuckungsgesetzes eingefallen war, und ich habe auch damals den Nerven mit Elektroden, die mit der Boussole verbunden waren, abgetastet, ganz wie Grützner es neulich that, aber ich muss gestehen, dass ich bei dem Versuche viel weniger glücklich gewesen bin, als dieser Forscher: ich fand solche Unregelmässigkeiten in Richtung und Stärke der auf diese Art vom Nerven abgeleiteten Ströme, dass ich gleich damals darauf verzichtete, aus diesen Strömen die Einzelheiten des Zuckungs-Gesetzes zu erklären; lange bevor ich in den Besitz besserer Argumente gelangte, welche mir nunmehr diese Erklärungsweise geradezu als unhaltbar erscheinen lassen.

Nicht als ob ich die Richtigkeit der Angaben Grützner's im Mindesten bezweifelte; aber wegen des grossen Interesses, welches diese Verhältnisse überhaupt beanspruchen dürfen, habe ich es be-

dauert, dass Grützner keine genaueren Angaben über seine Versuche gemacht hat, dass er uns nicht sagt, wie viele Scalentheile Ablenkung er beim Abtasten des Nerven von den einzelnen aufeinander folgenden kleinen Stückchen des Nerven erhielt, die nach und nach zwischen seine Elektroden zu liegen kamen; dass er das Schema, durch welches er seine Versuchsresultate veranschaulicht, nicht lieber durch wirkliche, experimentell gewonnene Curven ersetzt hat.

Ich muss es mir versagen, die übrigen Argumente, welche gegen die Auffassung Grützner's sprechen, hier vorzubringen, weil mich deren Erörterung zwingen würde, Theile dieser „Untersuchung", welche in späteren Abhandlungen ihren gehörigen Platz finden werden, aus ihrem natürlichen Zusammenhange gerissen, jetzt mitzutheilen. Hingegen hoffe ich, dass die Versuche, welche ich neuerlich angestellt habe, um die Stichhältigkeit der Grützner'schen Erklärung zu prüfen, und welche ich sofort schildern werde, dem Leser jede weitere Argumentation überflüssig erscheinen lassen werden.

Wenn die schwachen Ströme, welche im aufpräparirten Nerven circuliren, die Unterschiede in der Empfindlichkeit des Nerven für beide Stromrichtungen bedingen: dann müssen diese Unterschiede wegfallen, sobald die Ströme aufgehoben werden. Grützner selbst sagt:[1]) „Etwa in der Mitte zwischen Hüfte und Knie ist eine Stelle, von der aus keine Ströme in die Boussole abgeleitet werden können; das ist der Aequator von v. Fleischl, der auch für Ströme von beiderlei Richtungen gleich empfänglich ist." Bringe ich also ein von vornherein in einem der Pole gelegenes Nervenstück unter solche elektrische Bedingungen, dass von ihm aus keine Ströme in die Boussole abgeleitet werden können, dann muss es die Eigenschaft des Aequators acquirirt haben, für beide Richtungen gleich empfindlich zu sein — in Wirklichkeit existirt ja für ein solches, an sich von keinem Strome durchflossenes Nervenstück der von Grützner für wesentlich und bedingend gehaltene Unterschied nicht mehr: ob der reizende Strom sich zum Eigenstrome addire oder von ihm subtrahire; denn es ist gar kein Eigenstrom mehr da.

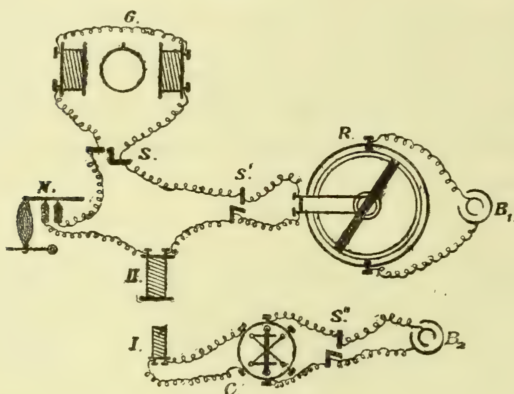
Zur Herstellung der vollkommenen Stromlosigkeit des auf sein Verhalten gegen alternirend gerichtete Ströme zu prüfenden Nervenstückes bediente ich mich natürlicherweise des Compensations-

[1]) l. c. pag. 138.

verfahrens. Als Compensator verwendete ich das in einer vorangegangenen Mittheilung[1]) von mir beschriebene Ortho-Rheonom, welches sich als zu diesem Zwecke sehr geeignet erwies.

Ich füllte die grosse Kreisrinne des Rheonoms (*R*, Fig. 1) mit Quecksilber statt mit Zinksulphatlösung, verband die Zuleitungen zu dieser Rinne mit den Polen einer constanten Batterie (B_1), und leitete den Brückenstrom von den zu ihm gehörigen beiden Schraubenklemmen, nach Zwischenschaltung des du Bois-Reymond'schen Schlüssels (S'), in einen Kreis, welcher die Draht-

Fig. 1.



windungen der secundären Spirale (II.) eines Schlitteninductoriums den über unpolarisirbare Elektroden gelagerten Nerven (*N*), und — abermals nach Zwischenschaltung eines Schlüssels (*S*) — die Windungen eines du Bois-Reymond'schen Galvanometers mit Spiegelablesung (*G*) enthielt. In angemessener Entfernung von der secundären Spirale befand sich die primäre (I.), die durch den Commutator (*C*) und den Schlüssel (S'') mit den Polen der Batterie (B_2) verbunden war.

Der Wagner'sche Hammer des Inductionsapparates war ausgeschaltet, so dass die Handhabung von S'' nur je einen Schliessungs- und Oeffnungsschlag auslöste. Der Schluss bei S'' erfolgte in Quecksilber, die Schliessungsschläge waren unwirksam, für gleichmässige Geschwindigkeit der Oeffnung war vorgesorgt.

Der Nerv (*N*) war sowohl in Verbindung mit seinem Muskel, welch' letzterer am Pflüger'schen Myographium seine Zuckungs-

[1]) E. Fleischl, Untersuchung über die Gesetze der Nervenerregung. III. Abhandlung; Das Rheonom. Diese Berichte, LXXVI. Bd. III. Abth.

höhen aufzeichnete, als auch in Verbindung mit dem Rückenmarke; und stellte die einzige Elektricität-leitende Verbindung zwischen Muskel und Rückenmark dar. Als Elektroden am Nerven dienten ein Paar auf einem Gestelle angebrachte Pinsel-Elektroden.[1]

Sonst ist über diese einfache Versuchsanordnung, welche sich von der ganz gewöhnlichen Anordnung für Reizversuche mit inducirten Strömen nur dadurch unterscheidet, dass mit dem Kreise in welchem sich nothwendigerweise der Nerv und die Inductionsspirale befinden, auch noch ein Instrument zur Messung etwa in diesem Kreise vorhandener constanter Ströme, und ein Instrument zur Aufhebung solcher Ströme verbunden sind, nur noch Folgendes zu bemerken.

Obwohl ich mich bei der Ausführung dieser Versuche der werthvollen Beihilfe des Herrn stud. med. Fuchs zu erfreuen hatte, so war es doch erwünscht, die Apparate über keinen zu grossen Raum zu vertheilen, also auch das Schlitteninductorium auf dem Arbeitstische bei dem Ablesefernrohre aufzustellen. Die Besorgniss, ein durch die primäre Rolle des Schlittenapparates kreisender Strom möchte die Boussole merklich afficiren, erwies sich, besonders nach Entfernung der Eisendrähte aus der primären Rolle, als unbegründet; es gelang vielmehr ganz leicht, dem Inductionsapparate eine solche Lage gegen die Boussole zu geben, dass dessen Thätigkeit von dieser durch keinen merklichen Ausschlag angezeigt wurde.

---

[1]) Siehe deren Beschreibung in: E. Fleischl, Untersuchung über die Gesetze der Nervenerregung, II. Abhandlung, über die Wirkung secundärer elektrischer Ströme auf Nerven. Diese Berichte, LXXIV. Bd. III. Abth. pag. 2 und 3 des Sep. Abdr. Fig. 1 u. 2. — Ich habe diese Elektroden jetzt insoferne etwas verbessert, als ich den Pinsel nicht mehr mit dem Stück Federpose, in welches er gefasst ist, eingypse, sondern letzteres fortlasse, wodurch der Widerstand sehr verringert wird. Ich lasse das Stück Glasrohr, an dem Ende, an welches der Pinsel kommt, vor der Lampe etwas zusammenlaufen, nämlich so weit, dass der Haarbausch des Pinsels, da wo er am dicksten ist, nicht mehr hindurch kann. Ich schneide den Pinsel ein paar Millimeter über dem unteren Ende der Federpose quer ab; befeuchte ihn, so dass die Haare von selbst in richtiger Lage aneinanderhalten und entferne dann das letzte Stück Pose und jeden etwa noch übrigen Rest der Fassung. Dann stecke ich den feuchten Pinsel mit der Spitze voran durch das weite Ende in das Glasröhrchen, und schiebe ihn so weit vor, als es geht. Dann folgen auf demselben Wege etwas Gypspulver und einige Tropfen Wasser. Es ist gut, so lang der Gypsbrei weich ist, dafür zu sorgen, dass er möglichst innig zwischen die oberen Enden der Pinselhaare eindringe.

Mit einem Paare solcher Elektroden arbeite ich nunmehr seit drei Jahren ohne irgend eine Störung, und ohne je mehr als eine halbe Minute Zeit zu ihrer Instandsetzung zu bedürfen.

Ferner kreisen bei unserer Anordnung die reizenden Inductionsströme auch durch die Boussolrollen. Ich hatte darum anfänglich daran gedacht, für den Moment der Reizung die Boussole durch eine Schliessung von gleichem Widerstande zu ersetzen, gab jedoch dieses Vorhaben auf, nachdem ich mich davon überzeugt hatte, dass bei der Empfindlichkeit der von mir verwendeten Nerven, und überhaupt unter den gegebenen Bedingungen, die durch die Reizströme an der Boussole hervorgebrachten Ausschläge bei 2 · 5 Meter Entfernung der Scala vom Spiegel nicht über fünf Theilstriche der Millimeterscala betrugen, dass also keinerlei Gefahr für die Boussole vorhanden war.

Während der Vorbereitungen zum Versuche sind die Reiber der Schlüssel S und S' vorgeschoben, so dass der Compensationsapparat und die Boussole vom Nervenkreise abgeblendet sind.

Diese Vorbereitungen bestanden darin, dass die Elektroden dem Nerven in dem oberen oder unteren Pole der untersten Strecke angelegt wurden, und dann jene Entfernung der Spiralen des Inductoriums von einander aufgesucht wurde, bei welcher die günstige Stromrichtung maximale Zuckung, die ungünstige gar keine Zuckung auslöste.

Der Versuch selbst wurde nun folgendermassen ausgeführt:

Es wurde durch Oeffnung bei S der im Kreise des Nerven vorhandene Strom,[1]) an der Boussole gemessen, und nun abermals die Wirkung beider Stromrichtungen erprobt,[2]) und natürlicherweise der früher constatirten gleich befunden.

Dann räumte ich, das Auge am Ablesefernrohr, die Nervenschliessung S' vor dem Compensator weg, und bewegte nun die Brücke des Rheonoms mit der Hand langsam aus ihrer Nullstellung in der geeigneten Richtung und schob hiedurch denselben Theilstrich der Scala wieder vor den Faden des Oculares, welcher vor Einschaltung der Boussole in den Versuchskreis einspielte, das heisst: ich compensirte den Strom im Nervenkreise vollständig, und prüfte bei dieser Anordnung die Wirkung beider Stromrichtungen Diese Prüfung ergab ausnahmslos, wie die im Versuche vorhergegangenen, jene Unterschiede in der Wirksamkeit, welche durch mein Zuckungsgesetz bestimmt sind, maxi-

[1]) Die Resultirende aus dem Nervenstrom und einem etwa vorhandenen, jedenfalls äusserst schwachen, Elektrodenstrome.

[2]) Hiefür musste manchmal die Stellung der Inductionsspirale noch ein wenig gegen die frühere geändert werden, aus leicht einzusehenden Gründen: veränderter Widerstand und Selbstinduction in den Boussolegewinden.

male Wirkung der einen, gar keine Wirkung der anderen Richtung, oder, wenn man sich näher am Aequator befand, Ueberwiegen der gegen den Aequator zu gewendeten Ströme; während sie unter Voraussetzung der Richtigkeit von Grützner's Anschauung die Reaction des Aequators, also gar keinen Unterschied der Richtungen, hätte ergeben müssen.

Ganz unabhängig von einem constanten Nervenstrome können aus den angeführten theoretischen Gründen, die Effecte beider Richtungen des Reizstromes nicht sein. Um mich und Andere aber davon zu überzeugen, in wie hohem Grade sie von solchen constanten Strömen im Nerven unabhängig sind, habe ich den Compensator nicht nur, wie beschrieben, zu deren völliger Aufhebung benützt, sondern sogar zu ihrer Umkehrung, ja ich habe den in seiner Richtung verkehrten Strom die mehrfache (z. B. fünffache) Stärke des ursprünglichen erreichen lassen, und mein Zuckungsgesetz erprobt, dann wieder den Strom in seiner ursprünglichen Richtung, aber mehrfacher Stärke applicirt, Alles, ohne je eine Ausnahme von dem durch das Zuckungsgesetz ausgedrückten Verhalten zu finden, welches die Nerven auch ohne Compensation darboten.

Viele derartige Versuche hier wiederzugeben, hätte wohl keinen Zweck. Die beiden folgenden werden genügen. Sie sind unmittelbar nach einander am selben Nerven angestellt.

I. Oberer Pol der untersten Strecke. Elektrodendistanz 12 mm.

a) Ohne Compensation. Maximale Wirkung des absteigenden Stromes. Keine Wirkung des aufsteigenden Stromes.

b) Boussole eingeschaltet. Dieselbe geht von 582 auf 578.[1]) Compensation bis auf die ursprüngliche Stellung von 582. Die Wirkung beider Ströme wie anfangs.

c) Uebercompensation bis auf Einstellung 600 Die Wirkung beider Ströme wie anfangs.

d) Einstellung mittels Compensators auf 560. Die Wirkung beider Ströme wie anfangs.

II. Unterer Pol der untersten Strecke, nahe am Muskel. Elektrodendistanz verringert auf 2,5 mm.

a) Ohne Compensation. Maximale Wirkung der aufsteigenden Ströme, keine Wirkung der absteigenden Ströme.

---

[1]) Die Empfindlichkeit der Boussole war absichtlich nicht gross gemacht.

b) Boussole eingeschaltet. Dieselbe geht von 590 auf 599, zeigt also, wie in Grützner's Beobachtungen, einen dem früheren entgegengesetzten Nervenstrom.

Compensation auf die ursprüngliche Stellung von 590. Die Wirkung beider Ströme wie anfangs.

c) Uebercompensation bis auf Einstellung von 584. Die Wirkung beider Ströme wie anfangs.

Aus den Ergebnissen dieser Versuche lässt sich wohl nur ein Schluss ziehen, nämlich der: dass die Grützner'sche Erklärung meines Zuckungsgesetzes unzulänglich ist. Gegen Grützner's Voraussetzungen und Folgerungen lässt sich von theoretischer Seite nichts einwenden; es muss also zugegeben werden, dass der von ihm behauptete Einfluss überhaupt existirt, auf der anderen Seite jedoch zeigen meine Versuche, dass dieser Einfluss — weit entfernt davon, das Verhalten einzelner Nervenstellen gegen reizende Ströme ausschliesslich zu bestimmen — vielmehr gegenüber der Eigenthümlichkeit dieser Stellen in ihrem Verhalten gegen beide Stromrichtungen ganz in den Hintergrund tritt, und als unwesentlich bezeichnet werden muss. Ganz dasselbe gilt natürlicherweise auch für jenen Versuch, das Zuckungsgesetz aus den Nervenströmen zu erklären, welcher sich auf die elektrotonisirende Wirkung dieser Ströme beruft.

Worauf die von mir beobachtete Eigenthümlichkeit der „Strecken" beruhe, lässt sich, soviel ich sehe, auch nicht vermuthungsweise sagen. Dass sie nicht unabhängig von den anatomischen Merkmalen sei, welche die Nerven an den „Folgepunkten" darbieten, ist wohl sehr wahrscheinlich; die Art des Zusammenhanges scheint mir aber vorderhand noch ganz dunkel zu sein. Aber man darf sich wohl fragen, ob angesichts des aus Segmenten zusammengesetzten Aufbaues unseres ganzen Bewegungsapparates, eine Segmentirung der Nerven in dem von mir vertretenen Sinne denn gar so befremdend erscheint, dass man von vornherein in ihr nur etwas ganz Zufälliges und Nebensächliches erblicken kann.

Ferner geht schon aus der „Wanderung des Aequators" und dann aus Versuchen, welche Grützner am Anfange seiner Abhandlung beschreibt, und welche vielleicht sehr mit der Wanderung des Aequators zusammenhängen, hervor, dass die Anbringung künstlicher Querschnitte, oder anderer, mit diesen gleichwerthiger Läsionen am Nerven, von sehr erheblichem Einflusse ist auf die Reaction seiner einzelnen Stellen beiden Stromrichtungen gegenüber.

Aber auch bezüglich dieses Einflusses muss gesagt werden, dass er nicht auf dem von Grützner vermutheten Wege sich vollziehe, sondern, dass er seiner Natur nach ebenfalls noch ganz dunkel ist.

Es ist nun noch eines Punktes Erwähnung zu thun. Grützner[1]) macht mit Recht darauf aufmerksam, dass, wenn ein Nerven- oder Muskelstrom compensirt wird, dies eigentlich nicht mehr bedeute, als dass nunmehr die beiden Fusspunkte des ableitenden Bogens auf derselben Niveaufläche liegen.

Dies hindere aber nicht, dass im Inneren des Nerven oder Muskels noch Spannungsunterschiede weiter bestehen, welche zu Strömen Veranlassung geben, die sich im Innern dieser Gewebe abgleichen. Die Nerven sind eben in Wirklichkeit keine linearen Leiter, und die Muskeln sind es noch viel weniger. Ich habe aus Rücksicht auf diese Bemerkung meine Versuche so eingerichtet, dass ein möglichst geringer Fehler durch die Betrachtung des Nerven als linearer Leiter eingeführt wird. Der Satz, dass durch Compensation der Strom in einem Zweige aufgehoben sein kann, ohne dass er es darum auch in anderen Zweigen der Leitung sein müsse, hat mich veranlasst, jede künstliche Stromverzweigung in meinen Versuchen auszuschliessen. Aus demselben Grunde habe ich auch meine ursprüngliche Absicht, die Versuche auch an Nerven auszuführen, die auf kurze Strecke möglichst schonend blossgelegt, im Uebrigen in ihrer natürlichen Lage und Umgebung blieben, gar nicht ausgeführt. Bei der von mir getroffenen Anordnung existirt nur ein Kreis. Ferner wurde die interpolare Strecke — einige Fälle ausgenommen — so lang wie möglich gemacht, um die Querdimensionen des Nerven gegen seine Länge möglichst klein zu machen. Auch habe ich nicht nur die Spitzen der Elektroden dem Nerven angelegt, sondern diesen zwischen den Haaren der Pinsel durchziehen lassen, so dass die Ableitung an der ganzen Peripherie des Nerven und in erheblicher Ausdehnung geschah.

Fig. 2.

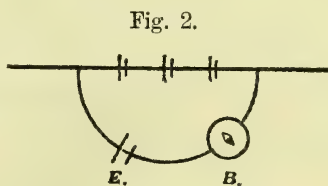


Fig. 2 giebt ein Schema der Anordnung. Die gerade Linie ist der Nerv, dessen extrapolare Verbindungen, wie schon erwähnt, von einander isolirt waren.

---

[1]) l. c. pag. 171.

Die längeren und kürzeren Querstriche durch den Nerven sollen die in demselben vorhandenen elektromotorischen Kräfte darstellen.

E repräsentirt die aus dem Compensator entnommene elektromotorische Kraft. Dieselbe wurde so gross gemacht, bis sie an der Boussole (*B*) den ersteren im Bogen das Gleichgewicht hielt.

Nachdem aber (bei gleichbleibendem Resultate) die elektromotorische Kraft bei *E* um das Vielfache grösser genommen wurde, als die Summe der aus dem Nerven in den Bogen gesendeten Kräfte, wird man wohl nicht zweifeln, dass in solchem Falle der ganze Nerv von einem Strome im Sinne der Kraft *E*, also im umgekehrten Sinne der in ihm selbst vorhandenen Kräfte durchflossen war. Von Einrichtungen im Nerven, welche sich dieser Anschauung nicht unterordnen, weiss man eben nichts, kann sie also auch für die Erklärung des Zuckungsgesetzes nicht geltend machen.

Die Anhänger jener Anschauung, nach welcher die von einem mit Querschnitt versehenen Nerven ausgehenden Ströme ihre Ursache in dem Fortschreiten einer das Absterben demarkirenden Querfläche haben, die elektromotorisch wirksam ist, werden gegen mein Raisonnement natürlich noch viel weniger etwas einzuwenden haben, als diejenigen, welche elektromotorische Molekeln im ganzen Nerven annehmen.

Ich habe überhaupt die am Galvanometer nachweisbaren Ströme, welche bei diesen Versuchen vorkamen, ohne Einfluss auf die Reaction des Nerven gegen beide Stromrichtungen gefunden; mit Ausnahme der Fälle, in welchen eben der Aequator symmetrisch zwischen den Elektroden lag. Hier brachte natürlich ein vom Compensator aus durch den Nerven gesendeter Strom, welcher also am Galvanometer nachweisbar war, eine Reaction zu Gunsten der einen Stromrichtung hervor, aber das Verhalten einer im Pole gelegenen Nervenstelle gegen beide Stromrichtungen konnte weder durch Compensation noch durch Uebercompensation (letzteres innerhalb der von mir angewandten Grössen) auf das Verhalten des Aequators gebracht oder gar umgekehrt werden, wurde vielmehr gar nicht sichtlich beeinflusst.

Nur wer einer Anschauung über das Wesen der elektrischen Vorgänge im Nerven huldigt, die es ihm erlaubt, in einem von einem Strome in bestimmtem Sinne durchflossenen Nerven, kleine, im Inneren desselben geschlossene Ströme anzunehmen, die eine entgegengesetzte Richtung im Nerven haben, und die gleichzeitig mit dem Hauptstrome existiren, wird sich durch mein Raisonnement

nicht befriedigt fühlen. Ich glaube aber nicht, dass irgend eine bekannte Thatsache dazu berechtigt, einen von einem sehr erheblichen absteigenden Strome durchflossenen Nerven, als aus Elementen sich zusammengesetzt zu denken, die aufsteigend durchflossen sind. Aber selbst, wer eine solche Ansicht zu der seinigen gemacht hat, und also einen Nerven mit compensirtem oder übercompensirtem Strome nicht für stromlos oder übercompensirt gelten lässt, und folglich meine ganze bisher vorgebrachte Argumentation verwirft; der wird doch zugeben, dass, wenn ein Nervenstück von vorn herein, ohne Compensation, sich als elektromotorisch unwirksam erwiesen hat, dieses Nervenstück unter Voraussetzung der Richtigkeit von Grützner's Erklärung keine andere Reaction gegen reizende Ströme geben dürfte, als die des Aequators. Das ist aber keineswegs der Fall.

Ich habe schon oben erwähnt, dass meine Versuche über Abtasten des Nerven mit der Boussole mir andere Resultate ergaben, als Grützner sie erhielt. So erhielt ich von einem mit möglichster Schonung zwischen Knie und Hüfte frei präparirten Nerven nur von der untersten, etwa 15 Millimeter langen Stelle, im Nerven aufsteigende Ströme, die ganze übrige Länge erwies sich an der sehr empfindlich gestellten Boussole als stromlos; zerfiel jedoch in einen Aequator und einen oberen Pol, an welch' letzterem sich das normale, starke Ueberwiegen der absteigenden Ströme leicht nachweisen liess. Nach Beendigung der Reizungen war dieser ganze obere Pol noch immer elektromotorisch ebenso unwirksam, wie seine unterste Grenze, der wirkliche Aequator.

Nach alledem bin ich wohl berechtigt zu sagen: Das Gesetz der Strecken und Pole rührt **nicht** von den Eigenströmen des Nerven her.

Das Zuckungsgesetz.

(Aus dem Archiv für Anat. und Physiolog. 1882. Physiolog. Abthlg.)

I. Allgemeine und einleitende Bemerkungen.

Unter dem Namen „Zuckungsgesetz" fasst man, seit E. du Bois-Reymond, jene Normen zusammen, durch welche das Verhalten motorischer Nerven und der mit ihnen zusammenhängenden Muskeln gegen den elektrischen Strom bestimmt wird.

Solcher Zuckungsgesetze sind viele aufgestellt worden, und ausserdem sind zahlreiche Einzelbeobachtungen bekannt gemacht worden, welche zwar nicht zur Aufstellung von Zuckungsgesetzen verwendet wurden, da die Untersuchungen, während welcher sie gemacht wurden, andere Zwecke verfolgten, welche aber immerhin auch Material zur Abstraction von Gesetzen enthalten.

Unter allen diesen — im Einzelnen oft um die Breite des ganzen Erscheinungsgebietes von einander abweichenden — Zuckungsgesetzen ist das berühmteste das von Pflüger[1]), welches noch heute ganz allgemein anerkannt und gelehrt wird.

In diesem Pflüger'schen Zuckungsgesetze wird der Effect eines galvanischen Stromes auf den Nerven als abhängig dargestellt:

1) von der Stärke des Stromes;

2) davon, ob der Reiz durch Oeffnung oder durch Schliessung des Stromes ausgeübt wird;

3) von der Richtung des Stromes im Nerven.

Auf den Zustand des Nerven, auf seine Ermüdung, sein allmäliges Absterben, ist gebührende Rücksicht genommen.

---

[1]) Pflüger, *Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus.* Berlin 1859. S. 453 ff.

Ich selbst habe nun in einer Reihe von Abhandlungen[1]) ein neues Zuckungsgesetz aufgestellt, welches sich in Uebereinstimmung mit den Erscheinungen befindet, und sich dadurch von den anderen Zuckungsgesetzen unterscheidet.

Das Eigenthümliche dieses Zuckungsgesetzes liegt darin, dass es ausser den Einflüssen der oben aufgezählten Factoren auch noch den Einfluss eines vierten Factors berücksichtigt, welcher für den Effect einer electrischen Reizung des Nerven ebenso maassgebend ist, wie irgend einer der übrigen. Es ist hiernach nicht zum Verwundern, wenn die anderen Zuckungsgesetze sich nicht im Einklang mit den Erscheinungen befanden; denn wer die Wirkung einer physikalischen Combination voraussagen will, und hierbei ein Moment ausser Acht lässt, welches diese Wirkung ungefähr in der Hälfte aller Fälle umkehrt, wird sich in seinen Erwartungen oft enttäuscht finden.

Dieser vierte Factor, welchen ich berücksichtigte, dieses von den anderen Zuckungsgesetzen ausser Acht gelassene Moment, ist die Lage der vom elektrischen Strom gereizten Nervenstelle gegen bestimmte, ebenfalls von mir aufgefundene, fixe Punkte am Nerven.

Ehe ich jedoch an die zusammenhängende Darstellung dieses Zuckungsgesetzes gehe, muss ich bemerken, dass alle Zuckungsgesetze nur gelten unter der Voraussetzung, dass jene — primären oder secundären — Stromschwankungen, welche bezüglich ihres Reizeffectes miteinander verglichen werden, durch einander geometrisch ähnliche Schwankungscurven dargestellt werden.

Man weiss durch E. du Bois-Reymond[2]), dass die Wirkung des Stromes auf den Nerven wesentlich von der Geschwindigkeit abhängt, mit welcher sich die Stromstärke ändert, kennt aber bisher das Gesetz dieser Abhängigkeit noch nicht. Man ist also gezwungen, bei allen Versuchen über elektrische Nervenreizung, die miteinander verglichen werden sollen, darauf zu achten, dass dieser Factor, dessen Einfluss man nicht bestimmen kann, unverändert derselbe

[1]) Fleischl, Untersuchungen über die Gesetze der Nervenerregung, in den *Sitzungsberichten der Wiener Akademie der Wissenschaften.* 3. Abtheilung.

I. Abhandlung: Ueber die Lehre vom Anschwellen der Reize im Nerven. 1875. — II. Abhandlung: Ueber die Wirkung secundärer elektrischer Ströme auf Nerven. 1876. — III. Abhandlung: Das Rheonom. 1877. — VI. Abhandlung: Ueber die Wirkung linearer Stromschwankungen auf Nerven. 1880.

Der Inhalt der IV. und V. Abhandlung liegt diesem Gegenstande fern.

[2]) E. du Bois-Reymond, *Untersuchungen über thierische Elektricität.* Bd. I. 1848. S. 258.

bleibe. Vollständig und wirklich befriedigend wird ein Zuckungsgesetz aber erst dann zu nennen sein, wenn unter den Variablen, deren Einfluss auf die Zuckung es bestimmt, sich auch die Steilheit der Stromschwankung befindet.

II. Dogmatische Darstellung meines Zuckungsgesetzes.

Der Nerv eines Muskels besteht im physiologischen Sinne aus der Summe aller jener Nervenfasern, welche in den Fasern dieses Muskels endigen. Da es nöthig ist, auch das centrale Ende des Nerven begrifflich zu bestimmen, so hat man sich, so viel ich weiss, dahin geeinigt, das centrale Ende einer jeden Nervenfaser da zu suchen, wo diese zum ersten Male in eine Ganglienzelle eintritt. — Wenn man, unter Zugrundelegung dieser Begriffsbestimmung, den Nerven von seinem Austritte aus dem Muskel gegen das Centrum zu verfolgt, so wird man ihn eine Strecke weit als reinen Nerven dieses Muskels begleiten können, wird ihn dann an andere Nerven sich anlagern und mit ihnen immer dickere Stränge bilden sehen, und endlich seinen Eintritt in das Rückenmark beobachten; und es wird sich nun die Frage erheben, wie lange er im Rückenmark noch Nerv verbleibe. Durch anatomische Methoden ist diese Frage schwer und einstweilen nur an verhältnissmässig niederen Thieren, mit Sicherheit zu beantworten. Solange man aber noch auf jedesmalige elektrische Reizung eines bestimmten Abschnittes des Rückenmarkes je eine einmalige Zuckung des fraglichen Muskels erhält, kann man — in Ermangelung eines besseren Kriteriums — behaupten, dieser Abschnitt des Rückenmarkes enthalte noch den Nerven dieses Muskels. Die ganze Faserbahn, von der obersten Stelle des Rückenmarkes, welche der genannten Bedingung noch entspricht, bis zum Muskel ist also der Nerv dieses Muskels.

Das Zuckungsgesetz für den Nerven des M. gastrocnemius des Frosches lautet nun folgendermassen:

A.

Der ganze Nerv zerfällt in drei „Strecken“.

Die erste Strecke reicht vom Muskel bis zum Abgang der Aeste für die Oberschenkelmusculatur — also etwa bis zum Eintritt des Nervus ischiadicus in das Becken.

Die zweite Strecke reicht vom Abgang der Aeste für die Oberschenkelmusculatur bis zur Trennung in eine motorische und sensorische Wurzel — also bis zum Ganglion intervertebrale.

Die dritte Strecke reicht vom Ganglion intervertebrale bis zum centralen Ende — begreift also die motorische Wurzel und den im Rückenmark gelegenen Antheil des Nerven in sich.

B.

Jede dieser drei Strecken besteht aus zwei Theilen („oberer und unterer Pol") welche in einem „Aequator" aneinanderstossen. Der Aequator liegt nicht immer in der Mitte einer Strecke, sondern meist unterhalb der Mitte.

In jedem oberen Pol prävalirt die Empfindlichkeit des Nerven für absteigende Ströme; in jedem unteren Pole die Empfindlichkeit für aufsteigende Ströme.[1]) An jedem Aequator ist die Empfindlichkeit für aufsteigende und absteigende Ströme gleich gross.

C.

Der Unterschied in der Wirksamkeit der beiden Stromrichtungen ist für eine Stelle des Nerven um so grösser, je weiter diese Stelle von dem Aequator ihrer Strecke entfernt ist.

---

[1]) In seiner Abhandlung über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven hat Helmholtz zwei vereinzelte Beobachtungen mitgetheilt, welche sich ohne Weiteres unter diesen Theil des Gesetzes subsumiren lassen.

Hermann hat später analoge Beobachtungen gemacht und sie durch *ad hoc* angestellte Versuche bestätigt gefunden, so dass er ein Gesetz aussprach, nach welchem bei „oberer Stromlage", d. h. wenn die Elektroden beide weiter vom Muskel entfernt sind, die absteigenden Ströme; bei „unterer Stromlage" die aufsteigenden Ströme wirksamer sind. Hermann hat dieses Gesetz allgemein aufgestellt, ohne die nothwendige Beschränkung auf je eine Strecke. Ihm war der Umstand, dass der Ischiadicus in drei Strecken zerfällt, für deren jede dieses Gesetz richtig ist, unbekannt geblieben; auf den ganzen Nerven angewendet, ist es aber unrichtig. Vergleicht man z. B. den unteren Pol der mittleren von den drei Strecken mit dem oberen Pol der untersten von den drei Strecken, so ist in Wirklichkeit in der „oberen Stromlage" nicht, wie aus Hermann's Gesetz folgen würde, die absteigende Stromrichtung die wirksamere, sondern die aufsteigende; und in der unteren Stromlage ist nicht die aufsteigende Stromrichtung, die nach Hermann die wirksamere sein müsste, thatsächlich wirksamer, sondern die absteigende. Zu ähnlich verkehrten Folgerungen führt der Hermann'sche Satz, wenn man den oberen Pol der mittleren Strecke mit dem unteren Pole der obersten Strecke vergleicht, oder auch, wenn man den oberen Pol der untersten Strecke mit dem unteren Pol der obersten Strecke vergleicht. — Wenn also auch nicht bestritten werden kann, dass Hermann etwas Hierhergehöriges gesehen und dessen Wichtigkeit erkannt hat, so muss doch auf der anderen Seite auf das Bestimmteste behauptet werden, dass das, was er gesagt hat, falsch ist. So wie er geglaubt hat, sind die Dinge nicht. Von sämmtlichen im Texte mitgetheilten und noch mitzutheilenden Punkten meines Zuckungsgesetzes ist dies mit Ausnahme von Punkt E der einzige, in welchem überhaupt eine mir bekannte Beziehung zu vorangegangener Literatur besteht — welche, habe ich eben auseinandergesetzt.

An den Enden der Pole, die vom Aequator abgewandt sind, ist dieser Unterschied so gross, dass ein Strom, der in der wirksamen Richtung das Zuckungsmaximum bedingt — ja selbst ein noch viel stärkerer Strom — in der entgegengesetzten Richtung gar keine Zuckung auslöst.

Halbirt der Aequator die zwischen den Elektroden liegende Partie des Nerven, so bekommt man von beiden Stromrichtungen gleiche Effecte; liegt der Aeqator zwar zwischen den Elektroden, aber nicht in der Mitte, so prävalirt die Zuckungsregel, welche für den Pol des Nerven gilt, von dem ein grösseres Stück zwischen den Elektroden liegt.

D.

Wird die Continuität des Nerven in einer der Strecken (durch Schnitt oder Ligatur) unterbrochen, so wandert der Aequator dieser Strecke im Allgemeinen mit mässiger Geschwindigkeit in der Richtung gegen den Muskel zu; so dass Punkte, die vor der Trennung im unteren Pole lagen, nach und nach immer tiefer in den oberen Pol hinein zu liegen kommen, indem der Aequator über sie hinweg nach abwärts zieht.

E.

Die Stellen, an denen die unterste Strecke an die mittlere und die mittlere Strecke an die oberste stösst („Folgepunkte"), sowie die Stelle des Nerven, welche unmittelbar über seinem Eintritt in den Muskel liegt, sind Orte geringerer „absoluter Empfindlichkeit"; d. h. sie haben, mit benachbarten Stellen verglichen, eine geringere durchschnittliche Erregbarkeit für beide Stromrichtungen.

Dieses sind die Hauptzüge des von mir aufgestellten Zuckungsgesetzes[1]) in dogmatischer Darstellung. Bezüglich der angewandten Methoden und vor Allem bezüglich der Nachweise für die Richtigkeit dieser Sätze muss ich auf meine oben (S. 355 Anm. 1) citirten Originalmittheilungen verweisen.

Ich will nur noch ausdrücklich bemerken, dass ich zwar in diesem Resumé nichts gesagt habe, was nicht schon in einer jener Abhandlungen und zwar *explicite* stände; dass ich hingegen ziemlich vieles hinweggelassen habe, was mir für den nächsten Zweck dieser Darstellung entbehrlich geschienen hat[2]).

---

[1]) Ganz analoge Gesetze gelten auch für andore Nerven, z. B. für die motorischen Nerven der oberen Extremitäten des Frosches, für den Nerven des Musc. tibialis posticus desselben Thieres.

[2]) Das Weitere dieser Abhandlung ist wesentlich polemischen Inhalts, und deshalb hier nicht abgedruckt. (Exner.)

Ueber das Verhalten von Käfermuskeln gegen Reize.

(Aus dem Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1875. Nr. 29.)

Da in der letzten Zeit die verschiedenartige Reaction verschiedener Muskelgruppen einer und derselben Extremität, in Folge der Anregung Rollet's, Gegenstand mehrfacher Mittheilungen geworden ist, will ich hier von Beobachtungen sprechen, die ich bei Gelegenheit einer noch nicht vollendeten Arbeit über Insectenmuskeln gemacht habe.

Sticht man durch den Oberschenkel eines abgeschnittenen Beines von Hydrophilus piceus zwei Stahlnadeln einige Millimeter von einander entfernt und sendet durch sie einen sehr schwachen constanten Strom, so wird man beim Oeffnen und Schliessen desselben gelegentlich sehr complicirte Bewegungen des Beines wahrnehmen. Die Details dieser Bewegungen variiren natürlicherweise sehr mit den Einstichsorten der Elektroden und mit der Intensität des Stromes, ihr allgemeinster Charakter ist aber folgender: die durch eine einmalige Reizung ausgelösten Bewegungen haben in einigen Gelenken das Aussehen von Zuckungen, in anderen das von verschieden lang andauernden tetanischen Zusammenziehungen; hiedurch ist es bedingt, dass die einzelnen Gelenke zu sehr verschiedenen Zeiten nach ein und derselben Reizung zur Ruhe kommen. Aber auch der Beginn aller durch eine Reizung ausgelösten Bewegungen ist kein gleichzeitiger, einige Gelenke fangen sehr merklich später an, sich zu beugen oder zu strecken, als andere. Es tritt somit der Effect einer Reizung in mehrere Acte zerlegt auf, die durch deutliche Zeitintervalle von einander getrennt sind.

Daran, dass etwa chemische Zersetzungsproducte, in der Nähe der Metallelektroden ausgeschieden, sich langsam am Gewebe verbreiten und so eine Nerven- oder Muskelparthie nach der anderen reizen, darf man nicht denken; ich habe mich durch die Anwendung unpolarisirbarer Elektroden vom Gegentheil überzeugt. Da man es

in diesem Versuch jedenfalls mit einer Mischung von Nerven- und Muskelreizung zu thun hat, welcher Umstand aber an sich auch wieder zur Erklärung der sehr complicirten Bewegungen nicht ohne Weiteres ausreicht, so ist es einstweilen gewiss nicht möglich, eine stichhaltige Erklärung zu geben.

Ich will noch bemerken, dass jene Bewegungscomplexe sehr häufig den Charakter der diesen Thieren eigenthümlichen Schwimm- und Gehbewegungen haben und dann je ein ganzes Tempo dieser Bewegungen darstellen. Uebrigens ist es mir bisher auch noch nicht gelungen, Ganglien im Bereich der reizenden Stromschleifen aufzufinden.

Hieran lässt sich folgende Betrachtung knüpfen. An den Gelenken der höheren Thiere, welche mit ihren Extremitäten mannigfaltige unzählige Zwecke durch ebensoviele von einander verschiedene Bewegungen erreichen, sind Muskeln angebracht, deren jeder für sich ganz oder fast ganz unabhängig von den anderen verkürzt werden kann. Die grosse Mannigfaltigkeit der Bewegungen beruht auf der verschiedenartigen Combination jener Verkürzungen; verschiedenartig nach Kraft und Grösse, nach Beginn und Dauer. Viel geringer ist die Mannigfaltigkeit der Verwendungen der Extremitäten niederer Thiere, trotz der beträchtlichen Anzahl der Gelenke und Muskeln an einer solchen Extremität. Ob er geht oder schwimmt oder sich gegen Scheere und Pincette vertheidigen oder, auf den Rücken gelegt, sich auf dem Tisch umdrehen will: immer und immer sieht man den Käfer Geh- und Schwimmbewegungen ausführen. Da er sonach die Zusammenziehungen seiner Muskeln wesentlich nach einem einzigen Schema, oder nach einigen wenigen Schemas combinirt, so brauchen auch jene Contractionen nicht so unabhängig von einander zu sein, wie bei den höheren Thieren, sondern sie können ein für alle Mal unter einander zu eben jener einzigen Combination oder zu jenen wenigen Combinationen verknüpft sein — und es ist nach dem oben Mitgetheilten nicht undenkbar, dass in Wirklichkeit etwas dem ähnliches stattfindet.

Wien, Mai 1875.

Ein mikrostroboskopischer Reizversuch.

(Aus dem Archiv für Anatomie und Physiologie. 1885. Physiologische Abtheilung.)

Gerade vor zehn Jahren, im Mai 1875, veröffentlichte ich im „Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften", zufolge einer Anregung, die ich durch eine Abhandlung des Hrn. Alexander Rollett empfangen hatte, einige Beobachtungen[1]) über den Reizeffect elektrischer Ströme an Bewegungsorganen von Insekten. Ich brauche auf den Inhalt jener Mittheilung nicht näher einzugehen; sondern erwähne ihrer nur, um zu sagen, dass der hier zu besprechende Versuch im Zusammenhange mit jenen Beobachtungen gemacht wurde, und nebst manchen anderen Versuchen unbeschrieben geblieben ist, als vorläufig gewonnenes Material zu einer Physiologie der Insektenmusculatur, auf deren systematische Bearbeitung ich jedoch seither verzichten musste.

Einige Bemerkungen in dem soeben erschienenen, ersten Theile einer sehr inhaltreichen Abhandlung von Hrn. Alexander Rollett[2]) veranlassen mich nun, den folgenden Versuch isolirt zu beschreiben, indem sie mich vermuthen lassen, dass Hr. Rollett ihn in irgend eine Beziehung zu seinen eigenen Beobachtungen oder Erfahrungen zu bringen wissen werde.

Bei der Beschaffenheit unserer Kenntnisse von den allgemeinen Eigenschaften der lebenden, dem Willensimpulse dienstpflichtigen Muskelfaser, war es wohl unvermeidlich, im Verlaufe einer, wie immer beschaffenen, eingehenderen Ueberlegung über die mechanischen Bedingungen der Locomotion von Insekten, sich vor die Frage gestellt zu sehen, wie der Ton, den wir vernehmen, wenn ein

---

[1]) Ernst von Fleischl, Ueber das Verhalten von Käfermuskeln gegen Reize. A. a. O. Nr. 29.

[2]) Alexander Rollett, Untersuchungen über den Bau der quergestreiften Muskelfasern. I. Theil. *Denkschriften der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserl. Akademie der Wissenschaften.* Wien 1885. Bd. XLIX.

Insekt nahe an unserem Ohre vorüberfliegt, der Ton also, der bei verschiedenen Arten von Insekten vom tiefen Brummen bis zu fast schmerzlich empfundener Höhe schwankt, in Rücksicht auf die Periode seiner Schwingungen, vereinbar sei mit der Eigenschaft aller bisher auf dieses Verhältniss untersuchten Muskeln, vermöge der Dauer ihrer Einzel-Contraction in einen dauernden und gleichmässigen Zustand der Verkürzung, in einen „Tetanus“ zu verfallen, bei einer Anzahl von Einzelreizen in der Secunde, welche hinter der Schwingungszahl selbst der tiefsten Brummtöne fliegender Insekten weit zurückbleibt.

Nach meiner damaligen — und auch nach meiner heutigen — Einsicht, kann diese Erscheinung nur auf die eine oder auf die andere von folgenden beiden Erklärungsweisen zurückgeführt werden.

Es ist erstens denkbar, dass die physiologischen Eigenschaften der Flugmusculatur der Insekten keine wesentlich anderen sind, als die aller anderen Muskeln, und dass auch ihre Zuckungsdauer sich nicht sehr von der der anderen Muskeln unterscheidet; dass sie beim Fliegen des Insekts auch nicht öfter als etwa fünf Mal in einer Secunde zucken; dass aber ihr Angriffspunkt nicht die Flügelwurzel, oder ein durch starre Hebel mit dieser verbundener Punkt sei, sondern dass sie sich an ein elastisches Gebilde ansetzen, etwa an einen elastischen, am einen Ende fixirten Stab, welcher von den zuckenden Fliegmuskeln von Zeit zu Zeit, etwa fünf Mal in einer Sekunde „angerissen“, und in elastische Schwingungen versetzt werde, die sich dann auf irgend eine Weise dem Flügel selbst mittheilen; und dass also die Höhe des Flugtones dem Eigentone des elastischen Stabes entspricht.

Und zweitens ist denkbar, dass die, schon prima facie von den übrigen Muskeln so verschiedenen Fliegmuskeln, nicht nur eine andere Farbe, Durchsichtigkeit, Consistenz, Bauart; sondern auch eine andere Zuckungsdauer haben, und zwar eine um so vieles kleinere, dass die Zusammendrängung jener Anzahl isolirter Zuckungen in eine Secunde möglich ist, welche der Höhe des beim Fliegen hörbar werdenden Tones entspricht.

Um diese Frage, die mir sehr interessant erschien, zu beantworten, stellte ich den folgenden Versuch an, dessen primitive Anordnung, und wenig exacte Ausführung von der Unvollkommenheit der Behelfe herrührte, die ich mir in das Gebirgsdorf mitgebracht hatte, in dem ich während der Herbstferien des Jahres 1875 lebte. — Meine ganze Ausrüstung bestand aus einem Mikroskop sammt

Präparirwerkzeug, und aus einer einfachen, etwa 8 Centimeter langen Drahtrolle, welche in ihrer Höhlung einen Eisenstab enthielt, über den ein Messingrohr mehr oder minder weit übergeschoben werden konnte, behufs Variirung der Wirkung der Rolle auf den Stab, und seiner Rückwirkung auf die Rolle. Das eine Ende des Eisenstabes unterhielt das Spiel einer Unterbrechungs-Feder, und auf diese Weise lieferte ein ganz kleines Chromsäureelement Extraströme von einer für meinen Zweck völlig genügenden Stärke. — Ferner verfügte ich noch über Staniol, feine Nadeln, Drähte, über ein Löthzeug, und ein Universalstativ, und über einige andere, der Erwähnung nicht werthe Hülfsmittel.

Von den Thieren, an denen die Versuche angestellt wurden, kann ich nur sagen, dass sich unter ihnen unser gewöhnlicher Schwimmkäfer (Hydrophilus piceus), dann eine Species der Gattung Aeschna, welche ich nicht näher bestimmt habe, und endlich eine von mir nicht bestimmte Heuschreckenart befunden haben. — Jeder Versuch wurde damit eingeleitet, dass dem lebenden Insekt die Flügelmusculatur der einen Seite sammt den angrenzenden Weichtheilen entnommen wurde, und nun an solchen Objecten versucht wurde, durch zartes Präpariren mit Nadeln und feinsten Scheeren, einen zur Flugmusculatur hinziehenden Nerven in einer Strecke von mindestens einem Millimeter zu isoliren, und zwar immer an neuen Objecten immer wieder von vorne versucht wurde, so lange, bis es endlich einmal gelang. Oft musste ich viele frisch eingefangene Thiere opfern, ehe ich einmal rasch genug nach Beginn der Präparation zu meinem Ziele gelangte: denn die Zeit, die nach dem Tode des Thieres verstreicht, spielt bei diesem Versuche eine wichtige Rolle. Hatte ich nun binnen erlaubter Frist ein Nervenstämmchen so weit zugerichtet, dass sich ein Erfolg mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit voraussehen liess, insofern kein noch so leiser Druck oder Zug — den diese Nerven erfahrungsgemäss nie ohne schwere Schädigung erleiden — bei der Präparation stattgefunden hatte: dann — aber auch nur dann — wurde der zweite, und viel schwierigere Theil der Vorbereitung begonnen. Es verlohnt sich nicht der Mühe, eine so subtile, und selten gelingende Arbeit, wie die nun folgende, an ein irgend zweifelhaftes Object zu wenden. Denn nun hat Folgendes zu geschehen. Es sind einzelne Längselemente der vom präparirten Nerven versorgten Flugmusculatur mit solcher Schonung zu isoliren, dass weder das eine noch das andere der beiden Gewebe im mindesten beschädigt wird. Dann sind zwei je ein Millimeter breite Staniolstreifen, welche mit einem,

bei Zimmertemperatur flüssigen Vaselin auf dem Objectträger verschiebbar angeklebt sind, mit ihren scharf zugespitzten Enden an zwei Punkte der isolirten Strecke des Nerven anzulagern, so dass sie ihn daselbst sicher berühren. Diese beiden Streifen sind jeder etwa 3 Centimeter lang; sie werden auf dem Objectträger, auf dem die ganze Präparation von Statten geht, und von dem sie durch das Vaselin elektrisch isolirt sind, nunmehr durch einige Tropfen geschmolzenen Klebwachses in ihrer Stellung fixirt, und mit den frei über den Rand des Objectträgers hinausragenden Enden in leitenden Contact mit zwei anderen, von vornherein auf dieser Platte befestigten Staniolstreifen gesetzt, welche nun ihrerseits in Verbindung stehen mit den Polen des Inductionsapparates.

Da eine eingehende Darstellung meiner, an dieser Art von Muskeln gewonnenen histologischen und physiologischen Erfahrungen — mit Rücksicht auf deren unfertigen und vielfach fragwürdigen Zustand — nicht in meiner Absicht liegt; sondern diese nur auf die Mittheilung eines bestimmten, mehrmals mit gleichem Erfolge wiederholten und eindeutigen Versuches beschränkt ist: so kann ich hier auf eine Motivirung der von mir gewählten, oben geschilderten Versuchsanordnung nicht eingehen.

Ich habe also nur noch zu berichten, dass ich die Objectplatte mit dem in angegebener Weise zugerichteten Präparate auf den Tisch des, mit ganz mässiger Vergrösserung versehenen Mikroskopes brachte, und daselbst fixirte. Da ich nun bei den ersten gelungenen derartigen Versuchen in dem Augenblick, in welchem die allmälig verstärkten Ströme den Nerven zu erregen begannen, das deutliche Bild jener Muskelfasern, die hierauf überhaupt reagirten, und hinreichend isolirt worden waren, um ein sicheres Urtheil hierüber zu ermöglichen, aus dem Auge verloren, und statt seiner ein ganz verwaschenes, undeutlich umrissenes Bild erblickt hatte; so fügte ich der Anordnung noch eine, aus geschwärztem Cartonpapier improvisirte stroboskopische Scheibe zu, welche sich in einer Horizontalebene dicht über dem Ocular des Mikroskopes so drehen liess, dass das Bild durch die Radialspalten intermittirend sichtbar wurde. Freilich fehlte es mir dort an jedem Mittel zur genauen Bestimmung der Perioden, sowohl des elektrischen Reizes, als auch der optischen Intermissionen; aber da es mir einigemale ganz unzweifelhaft gelungen ist, die verwaschenen Bilder der vom Nerven aus tetanisirten Muskelfasern durch die stroboskopische Scheibe in die Bilder von ganz langsam sich verkürzenden, und wieder erschlaffenden Fasern zu verwandeln, so habe ich meinen Versuch im Ganzen für

gelungen gehalten. Ich konnte durch die Scheibe sogar die Verkürzung und Verschiebung der einzelnen, in der Längsrichtung aufeinanderfolgenden Faserelemente beobachten, und es trat natürlich auch die Abhängigkeit des besonderen Anblickes der Erscheinung von der Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe deutlich hervor. Ich habe dann nachträglich die Anzahl der Einzelreize, welche ich meinen Präparaten bei diesen Versuchen applicirte, festzustellen gesucht, und diese zu etwa 50—80 in der Secunde gefunden, in Uebereinstimmung mit der rohen Schätzung, die ich gleich zur Zeit der Versuche aus dem Tone der Unterbrechungsfeder gemacht hatte. Dass der geschilderte Versuch nur gelingen kann, wenn die Muskelfasern in ganz bestimmten Verhältnissen sich befinden, also vor Allem hinreichend beweglich sind, in Folge genügender Befeuchtung; dann aber auch einigermaassen gespannt sind, also durch günstige Lagerung mit einiger Kraft in ihre gestreckte Lage zurückgeführt werden, versteht sich von selbst.

Nachdem so die Frage, welche ich mir gestellt hatte, im Wesen beantwortet war, erschien mir eine andere, als die getroffene Entscheidung kaum mehr möglich. In der That ist es sehr schwer, sich vorzustellen, dass durch einmalige Muskelwirkung einem elastischen Gebilde eine hinreichende Spannung gegeben werde, um diesem während der ersten zehn bis zwanzig Schwingungen ohne merkliche Einbusse an Amplitude so erhebliche Abgaben von lebendiger Kraft zu gestatten, wie sie unbedingt erforderlich sind, wenn die complicirte Form der Flügelbewegung (ein Resultat der eigenthümlichen Configuration der betreffenden Gelenke) unter den gegebenen Verhältnissen auf diese Weise erklärt werden soll. Sind wir doch schon bei der Annahme, dass zu jedem Flügelschlage eines schwebenden Insektes eine Contraction der Fliegmuskeln gehöre als Ursache der Bewegung und Quelle der Kraft, zu Vorstellungen über das Verhältniss der Masse zur Leistung der Muskeln gedrängt, welche wir uns sonst nicht zu bilden pflegen, und welche — in Verbindung mit dem Gedanken an die Häufigkeit und Dauer der Leistung — den Insektenflug als ein Wunder im Wunder demjenigen erscheinen lassen, der von der Erstaunlichkeit der thierischen Bewegung überhaupt durchdrungen ist.

Studien über den Elektrotonus.

(Aus dem Archiv für Anatomie und Physiologie. Physiologische Abtheilung.

Jahrgang 1885, pag. 490—518.)

(Mit 4 Figuren.)

I. Theil.

§ 1. Einleitung. — Technisches und Methodisches über das Capillar-Elektrometer.

Die Versuche, welche die Grundlage der folgenden Darstellung bilden, sind in der Ueberzeugung unternommen worden, dass die Verwendung und die Werthschätzung, welche das Capillar-Elektrometer bisher in der Physiologie gefunden hat, immerhin noch eine, der wahren Bedeutung dieses schönen Instrumentes nicht ganz entsprechende ist, und dass einige seiner Vorzüge, durch die dasselbe gerade für die Fragen unserer Wissenschaft von grosser Wichtigkeit werden kann, nicht genügend gewürdigt sind. Es scheint fast, als hätte nur die grosse Geschwindigkeit, mit welcher die Bewegung des Quecksilber-Meniscus die Bewegung der Elektricität abbildet, die Aufmerksamkeit der Physiologen erregt — wenigstens möchte man aus der hauptsächlichen Verwendung dieses Instrumentes in der Elektro-Physiologie, sowie aus den Formen, welche dasselbe in den Händen einiger Physiologen bekommen hat, fast diesen Schluss ziehen. Die Methode der mechanischen Reposition des Meniscus, welche der Erfinder des Capillar-Elektrometers, Hr. Lippmann, aus sehr guten Gründen gewählt hatte, und deren Princip ich nicht anzutasten wagte, als ich das in diesem Archiv beschriebene Modell des Instrumentes construirte,[1]) ist in den physiologischen Laboratorien, so viel ich höre, fast vollständig durch die Methode

---

[1]) Ernst v. Fleischl, Ueber die Construction und Verwendung des Capillar-Elektrometers für physiologische Zwecke. *Dieses Archiv.* 1879. S. 269 ff.

der galvanischen Reposition verdrängt worden. Das hätte kaum geschehen können, wenn die Physiologen die übrigen Vorzüge dieses Instrumentes eben so deutlich erkannt hätten, wie den, der in seiner grossen Beweglichkeit liegt. Auch stehen der allgemeinen Verwendung des Capillar-Elektrometers noch einige Vorurtheile im Wege, die ich durch den oben erwähnten Aufsatz beseitigt zu haben glaubte. Nachdem dies jedoch — wie ich bestimmt weiss — nicht geschehen ist, so wird es vielleicht nicht ganz ungerechtfertigt sein, wenn ich auf einige Punkte meiner früheren Arbeit hier wieder zurückgreife, die mir besonders geeignet erscheinen, diese Vorurtheile zu zerstreuen, und über die ich in meiner ersten Mittheilung offenbar nicht ausführlich genug berichtet habe. Man begegnet noch beinahe allenthalben der Meinung, die Herstellung einer brauchbaren Capillare sei Sache einer ganz besonderen Geschicklichkeit, wenn nicht gar des Glückes; und die längere Erhaltung einer „gelungenen" Capillare sei der Lohn einer besonderen Sorgfalt: als wäre eine solche Capillare von ebensovielen Gefahren bedroht, als sie Manipulationen unterworfen wird. Seit ich mein Verfahren,[1]) Capillaren herzustellen, ausübe, ist mir noch nie eine Capillare misslungen — ohne dass ich mir einer besonderen Geschicklichkeit in Glasbläser-Arbeiten bewusst wäre; — und die Capillare ist nicht zerbrechlicher, als eben ganz kurze Glasstäbe von 3—4 mm Durchmesser zu sein pflegen. — Die einfachen Regeln für die Herstellung solcher Capillaren sind, in Kürze, folgende: Nachdem man einen dünnen Platinadraht einem 40—50 cm langen Stücke gewöhnlichen Barometerrohres ungefähr in der Mitte eingeschmolzen hat,[2]) löthet man vor der Lampe an das eine Ende des Rohres ein Stück Glasrohr als Handhabe an, und erhitzt dann eine Stelle des Barometerrohres, die etwa 5 cm über dieser Löthstelle liegt, in dem heissesten Theil einer möglichst grossen Flamme, selbstverständlich unter fortwährendem Drehen des Rohres um seine Längsaxe, und mit der Vorsicht, dass der erweichte Theil

---

[1]) A. a. O. S. 274, 275.

[2]) Die Stelle des Rohres, in welche der Platinadraht eingeschmolzen ist, soll beistehende Gestalt haben. — Jeder Glasbläser weiss, wie man es anzustellen hat, um sie zu erzielen. Man kann vorsichtshalber das Rohr nach dem Einschmelzen des Drahtes ein paar Tage liegen lassen, ehe man es weiter bearbeitet, um abzuwarten, ob es nicht springt. — Uebrigens wird von der Firma Mayer und Wolf in Wien, van Svietengasse, welcher ich die Ausführung meines Instrumentes übertragen habe, jedem Capillarelektrometer ein Satz von solchen „unverwüstlichen" Capillaren beigegeben.

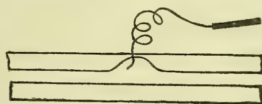


Fig. 1.

weder gedehnt noch gestaucht werde, so lange, bis das Rohr an einer Stelle „zugelaufen“ ist, das heisst: bis das Lumen ganz verschwunden ist. Dann entfernt man das Rohr aus der Flamme und lässt es — stets rotirend — so weit erkalten, bis das Glas anfängt, zäh zu werden. Jetzt ist es Zeit, die Capillare auszuziehen; dies hat durch möglichst symmetrischen, axialen, langsamen Zug zu geschehen, in der Art, dass das Rohr an seiner dünnsten Stelle, (an welcher es kein Lumen hat, sondern einen Stab darstellt), nicht dünner als 2—3 mm im Durchmesser wird. Man findet dann leicht (im reflectirten Lichte) den Punkt, an welchem das Lumen, spitz zulaufend, endet; und schmilzt nun in einer kleinen Stichflamme den Stab etwa 1 cm unter dieser Spitze ab. Dieses Zuschmelzen ist nothwendig, sonst geräth beim Anschleifen der Facette zu leicht etwas von dem Schleifmittel in die Capillare. Die Capillare versuchsweise mit Quecksilber zu füllen (zu welchem Zwecke sie eröffnet werden müsste), ehe man sie zum Schleifen giebt, wäre ganz überflüssig — sie ist jedenfalls gut, d. h., sie hat jedenfalls eine rein conische Form, wenn nur das Rohr vor dem Ausziehen „zugelaufen“ war. Auch für die Gewinnung eines vorläufigen Urtheiles über den Grad der Empfindlichkeit der Capillare, ist ein Anfüllen und Probiren derselben nicht nothwendig. Die Capillare ist um so empfindlicher, sie giebt bei derselben elektromotorischen Kraft einen um so grösseren Ausschlag, je spitzer ihr Kegelwinkel ist. Nun hat man es ganz in der Hand, diesen Winkel so spitzig zu machen, wie man will — er wird um so stumpfer, je mehr man das Glas vor dem Ausziehen erkalten liess, und je weniger, d. h., je schwächer und je langsamer man es ausgezogen hat. Uebrigens lässt sich die Gestalt der Capillare sehr leicht bei richtiger Beleuchtung durch blosse Besichtigung ermessen, und bei einiger Uebung kann man sogar ein hinreichend genaues Urtheil über ihre spätere Empfindlichkeit nach dem blossen Aussehen fällen. Mir ist es noch kein einziges Mal vorgekommen, dass ich eine Capillare hätte schleifen lassen, die sich nachher der auf sie verwendeten Mühe und Kosten unwerth erwiesen hätte. Ich bin nämlich davon abgekommen, die Facetten an meine Capillaren, wie ich das in dem erwähnten Aufsatze beschrieben habe, selbst anzuschleifen, sondern ich lasse dies von einem Glasschleifer besorgen. Bei richtiger Behandlung vor dem Gebläse ist der Theil des Rohres, welcher das conische, capillare Lumen enthält, aussen fast rein cylindrisch, und geht, ziemlich jäh an Dicke zunehmend, an einer Stelle in die Dimensionen des übrigen Rohres über, an welcher das Lumen uns längst wegen seiner Grösse nicht

mehr interessirt. Der Glasschleifer erhält nun den Auftrag, den unteren, fast rein cylindrischen Theil, der Länge nach flach anzuschleifen, so weit, bis Gefahr droht, das Lumen könnte eröffnet werden. Der ebene Schliff wird dann vollkommen polirt, und in diesem Zustande das Rohr wieder abgeliefert. Leicht zu errathende Gründe[1]) sprechen dafür, nun die Spitze in solcher Höhe abzuschneiden, dass später der Meniscus möglichst nahe über dem unteren Ende der Capillare steht, einige Uebung lässt die Höhe, in welcher der Schnitt für diesen Zweck anzubringen ist, ebenfalls nach der blossen Besichtigung von aussen, noch vor jeder Probefüllung, sehr genau bestimmen. — Solche Capillaren aber, welche bei starker Mikroskopvergösserung benutzt werden sollen, schneide ich absichtlich nahe an der eigentlichen Spitze ihres Lumens ab, lasse sie also etwa um 5—8 mm zu lang. Dies geschieht im Hinblick auf folgende Verwendung. Das Gefäss, in welches die Capillare eintaucht, wird

---

[1]) Die „schädliche Länge“ ist sowohl lästig bei der Handhabung, als auch ungünstig für die Leistung der Capillare. Lästig ist sie durch den hohen Druck, der erfordert wird, um (bei der ersten Justirung) das Quecksilber durch die Capillare herauszutreiben, welche Procedur vorgenommen wird, um durch das, bei nachlassendem Druck zurücksteigende Quecksilber einen Faden der Flüssigkeit emporsaugen zu lassen, unter deren Spiegel die feinen Quecksilberkügelchen aus der Capillare ausgetrieben wurden. — Die Leistung wird durch die „schädliche Länge“ gewiss in sehr complicirter Weise beeinflusst. Auf den ersten Blick erkennt man aber zwei Störungen, die — ganz verschieden von einander, bezüglich ihres Zusammenhanges mit der „schädlichen Länge“ — dennoch in ihrem Einfluss auf die Leistung eine gewisse Uebereinstimmung der Wirkung zeigen. Da — wie ich mehrfach hervorgehoben — die Zeit, welche der Meniscus braucht, um unter dem Einfluss eines elektrischen Stromes seine neue Gleichgewichtslage zu erreichen, um so länger ist, je grösser die Summe der Widerstände im Kreise ist, so findet eine verzögernde Wirkung durch den Leitungswiderstand des langen und äusserst dünnen Flüssigkeitsfadens in der „schädlichen Länge“ unzweifelhaft statt; doch wage ich nicht, zu behaupten, dass dieser Einfluss uns erkennbar sei; obschon Widerstände, bei denen eine Verlangsamung des Ausschlages eben merklich wird, gerade in die Grössenordnung fallen, von der hier die Rede ist. Mit viel grösserer Bestimmtheit kann aber eine sinnfällige verzögernde Wirkung der Reibung der Flüssigkeit in einem Rohre von so geringem Querschnitte behauptet werden, nicht minder ein übler Effect dieser Reibung auf die Empfindlichkeit und Beweglichkeit, wie denn überhaupt dieser Fall ganz analog dem, einer Luft- oder Glycerindämpfung zu betrachten ist.

Ein weiterer Einfluss der schädlichen Länge, welcher sich allerdings einer genaueren Erwägung mehr würdig als zugänglich zeigt, rührt von der chemischen Beschaffenheit der, an den Quecksilbermeniscus zunächst angrenzenden Flüssigkeitsschichte her, und von der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher sich Differenzen in der Zusammensetzung oder im Gasgehalte dieser Schichte durch Diffusion mit der äusseren Flüssigkeit ausgleichen können — je nach verschiedener Länge

bis zum Rande mit der verdünnten Schwefelsäure angefüllt, und die Capillare taucht nur eben in diese Flüssigkeit ein, so dass derjenige Theil, an dem der Meniscus einspielt, mehrere Millimeter über dem oberen Rande des Gefässes sich befindet. Diesem Theile der Facette kann also die Frontlinse eines starken Luftsystemes viel dichter angenähert werden, als dies möglich wäre, wenn noch eine Flüssigkeits-

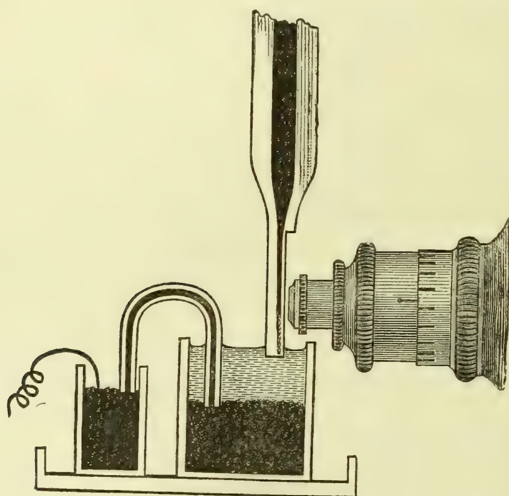


Fig. 2.

schichte und eine — noch so dünne — Gefässwand, zwischen der Facette und der Frontlinse Platz finden müssten; es lässt sich auch ganz bequem ein Tropfen Wasser oder homogener Immersions-Flüssigkeit vorn auf die Facette bringen; und man kann auf diese

---

und Dicke des flüssigen Fadens, dessen oberes Ende eben diese Schichte bildet. Einer wirklichen Analyse dieser Verhältnisse steht der Umstand, dass wir vor der Hand noch gar keine genaueren Kenntnisse der Vorgänge im Capillar-Elektrometer, geschweige denn eine Theorie dieses Instrumentes besitzen, nicht so sehr im Wege, als es den Anschein hat; denn — welches immer diese Vorgänge sein mögen — man wird kaum zu viel wagen, wenn man von ihnen voraussetzt, dass sie um so regelmässiger und constanter sein werden, je weniger sich die chemische Zusammensetzung und der Gasgehalt der an das Quecksilber grenzenden Flüssigkeit ändert. Was mir zunächst den Faden der Speculation abschneidet, das ist: dass ich nicht zu entscheiden vermag, ob unter den vorhandenen Umständen die jedenfalls wünschenswerthe Constanz der Zusammensetzung und des Gasgehaltes der an das Quecksilber angrenzenden Flüssigkeitsschichte auf Isolirung, oder auf Erneuerung zu beruhen hat, ob an der Unterbindung der Diffusion, oder ob an ihrer Beschleunigung zu gewinnen ist, also: ob die Länge des in der Capillare enthaltenen Flüssigkeitsfadens in dieser Beziehung als „nützliche" oder „schädliche" anzusehen ist.

Weise den Meniscus mit den besten und stärksten Vergrösserungsmitteln der modernen Optik beobachten. Die Anordnung, von der ich eben sprach, wird durch den obenstehenden Holzschnitt veranschaulicht. In dieser Zeichnung ist auch eine Methode der Verbindung der unteren Quecksilbermasse mit dem zuleitenden Platinadraht dargestellt, welche ich für sehr empfehlenswerth halte. Das unter der verdünnten Schwefelsäure stehende Quecksilber wird mit der Quecksilbermasse, die sich in einem kleinen Gefässe befindet, welches neben dem ersteren auf demselben Tischchen[1]) angebracht ist, durch ein, zweimal im rechten Winkel gebogenes Glasröhrchen von etwa 1 mm Lumen, und eben so viel Wandstärke verbunden, welches ebenfalls ganz mit Quecksilber gefüllt ist.[2]) Erst in dieses zweite, kleine Quecksilbergefäss taucht der zuleitende Platina- oder Kupferdraht ein. Ich habe gefunden, dass dies die einfachste und bequemste Art der Zuleitung[3]) ist, bei welcher man vollkommen sicher davor ist, dass nicht eine Spur der verdünnten Säure sich, Oberflächen entlang, zwischen Quecksilber und Platina hineinstiehlt, und nun zwischen diesen Metallen Kette macht, und auf diese Weise eine Quelle von elektromotorischer Kraft im Innern des Capillar-Elektrometers selbst herstellt, die zu den schlimmsten Irrthümern Anlass geben kann. Meine Angst vor diesem unsichtbaren Feind ist so gross, dass ich mich zu der oben beschriebenen Anordnung entschlossen habe, die wohl einige Mühe und Sorgfalt bei ihrer Herstellung in Anspruch nimmt — einmal hergestellt aber keine weitere Aufmerksamkeit bedingt, und durch die Beruhigung, die sie bezüglich der Harmlosigkeit der Zuleitung gewährt, die auf sie verwendete Mühe reichlich lohnt.

In meiner oben erwähnten Abhandlung habe ich schon auf die Nothwendigkeit hingewiesen, die Verbindung zwischen dem Capillar-Elektrometer und den übrigen Theilen einer Anordnung vermittelst

---

1) Das Nähere hierüber: a. a. O. S. 271 unten.

2) Dieses Röhrchen wird natürlich an beiden Gefässen durch etwas Kitt oder Siegellack befestigt.

3) Die scheinbar so einfache und vollkommene Art der Zuleitung des Platinadrahtes durch den Boden des Gefässes direct in das Quecksilber halte ich erstens nicht für so unbedingt sicher gegen Benetzung, zweitens aber wäre — bei dem Umstande, dass die ganze Beschaffenheit und Aufstellung meines Beobachtungsgefässes, die für feinere Messungen unentbehrlich ist, das Einschmelzen eines Drahtes nicht zulässt, und dass ferner auch eine Bohröffnung für den Draht aus verschiedenen Gründen schlecht anzubringen wäre — eine solche directe Zuleitung des Drahtes in das Quecksilber auch nicht so einfach herzustellen, wenn man nicht ihretwegen auf andere, wesentliche Vortheile verzichten will.

eines Schlüssels herzustellen, welcher das Capillar-Elektrometer in sich zu schliessen erlaubt, was nothwendig ist, damit dasselbe rasch und sicher sich auf seinen Nullpunkt einstelle. Zu dem hier erforderlichen Dienste eignet sich aber weder du Bois-Reymond's Vorreiberschlüssel, noch sein Quecksilberschlüssel. Ersterer nicht, wegen der schon von seinem Erfinder erkannten Veränderlichkeit seines Widerstandes, letzterer nicht, weil an ihm in seiner bisherigen Gestalt die Gelegenheit fehlt, ihn als Nebenschliessung zu gebrauchen. Ich construirte mir daher einen Quecksilberschlüssel, an welchem dies möglich war, indem ich einen Vorreiberschlüssel mit passend angebrachten Quecksilbergefässen versah. Ueble Erfahrungen, welche ich mit trocknen Contacten an so wichtiger Stelle des Capillar-Elektrometers gemacht habe, waren es, die mich zur Annahme dieser Form des Schlüssels veranlassten. —

§ 2. Das Ziel dieser Untersuchung. Die Eignung des Capillar-Elektrometers hierfür; seine Prüfung und Justirung. — Versuchsanordnung.

Ich weiss keinen einfacheren und klareren Weg zur Darstellung der Aufgaben und Fragen, welchen diese Schrift gewidmet ist, als die wörtliche Wiederholung einer Stelle aus Hrn. E. du Bois-Reymond's „Untersuchungen über thierische Elektricität", in welcher der Zweck der hier vorliegenden Abhandlung dargelegt wird — wenn auch im Lichte einer ganz bestimmten theoretischen Voraussetzung, und deshalb auch durchflochten mit einer ganz bestimmten Erwartung bezüglich der Ergebnisse; doch finde ich es sehr passend, diese Stelle hier anzuziehen, weil die Aufgabe, welche uns jetzt beschäftigt, daselbst überhaupt zum ersten Male ausgesprochen ist; weil sie seitdem nicht klarer, als in jenen Worten, ausgesprochen worden ist, und weil ich die Frage heute in genau demselben Zustande angetroffen habe, in welchem sie vor 35 Jahren dem Verfasser der „Untersuchungen" vorschwebte.

Diese Stelle[1]) lautet wie folgt:

„Es würde natürlich sehr schätzbar sein, wenn es uns gelänge, die säulenartige Polarisation der dipolar-elektromotorischen Nervenmolekeln durch den Strom auch zwischen den Elektroden nachzuweisen, und dadurch die Curve des Zuwachses auch an dieser Stelle erfahrungsmässig zu ergänzen. Leider habe ich keinen Weg ausfindig machen können, um diesen Zweck zu erreichen. Der zwischen

[1]) E. du Bois-Reymond, *Untersuchungen über thierische Elektricität.* Bd. II. S. 327, 328.

den Elektroden ohne allen Zweifel gleichfalls vorhandene Zuwachs kann sich durch nichts anderes kundgeben, als durch eine Vermehrung der Stärke des erregenden Stromes. Wir werden in der Folge ermitteln, dass der Zuwachs bis zu einer Grenze, die in genaueren Versuchen nie überschritten werden darf, der Stärke des erregenden Stromes einfach proportional ist. Es wird also die Erhöhung dieser Stärke, welche der Zuwachs zwischen den Elektroden bedingt, auch stets dieser Stärke selber proportional sein. Die Aufgabe läuft also darauf hinaus, auf allen Punkten einer Strecke eines Kreises, in welchem eine elektromotorische Kraft wirksam ist, eine stets gleichgerichtete und dabei stets der ersteren proportionale elektromotorische Kraft nachzuweisen. Es fehlt nun aber an jedem Mittel, die Wirkung einer solchen Kraft zu unterscheiden von der Wirkung einer Verminderung des Widerstandes der Strecke, welche der Sitz der Kraft ist, und die Wirkung des Zuwachses zwischen den Elektroden wird sich also stets darauf beschränken, den Widerstand der Nerven kleiner erscheinen zu lassen, als er in Wirklichkeit ist; gerade wie, ohne Hinzuziehung anderweitiger Thatsachen und Betrachtungen, die Schwächung einer Kette durch Polarisation der Elektroden auf Rechnung ebensowohl eines Uebergangswiderstandes als einer elektromotorischen Gegenkraft gebracht werden kann.“

Wenn oben gesagt wurde, dass ich die Frage heute noch in dem Zustande vorfinde, in dem sie damals von Hrn. E. du Bois-Reymond verlassen wurde, so ist damit natürlich nur die Frage nach eben diesem Versuche, und nichts anderes gemeint, als dass der reine, einfache Versuch, von dem Hr. du Bois-Reymond beklagte, dass er dermalen keine Mittel kenne, um seine Ausführung möglich, und seine Deutung von allem Zweifel frei zu machen, auch heute noch nicht angestellt worden ist. Ueber die Bedeutung der zahlreichen Methoden und Versuche, welche von mehreren Forschern erfunden und ausgeführt worden sind, um dasselbe Ziel auf anderen Wegen zu erreichen, soll mit dieser Bemerkung ebensowenig etwas ausgesagt sein, wie über die Verwendbarkeit und Verlässlichkeit aller der Momente, welche seither für die Unterscheidung einer Kraftzunahme von einer Widerstandsabnahme beigebracht wurden, sofern diese beiden Veränderungen einer Intensitätsschwankung zu Grunde gelegt werden können, welche sich an einem Galvanometer hat beobachten lassen.

Mit einem Galvanometer in dem Sinne, in welchem diese Bezeichnung allgemein gebräuchlich ist, nämlich mit einem Instrumente,

welches die Intensität eines galvanischen Stromes misst, in dessen Kreis es sich befindet, wird diese Frage, wie Hr. du Bois-Reymond bemerkt, überhaupt nicht direct zu beantworten sein. Hierzu wäre nur ein solches Instrument zu gebrauchen, welches, von einem galvanischen Strome durchflossen, eine andere Dimension desselben, als die Intensität, anzeigt, nämlich: die elektromotorische Kraft, und welches also in seinen Ablesungen von Variationen des Leitungs-Widerstandes unabhängig ist.

Ein solches Instrument ist das Capillar-Elektrometer. Der Erfinder desselben, Hr. Lippmann, hat den Nachweis geliefert,[1]) dass die Dimension des Stromes, die es misst, die elektromotorische Kraft ist, dass von dieser allein die Grösse des Ausschlages abhängt, dass ihr allein der, zur Reposition des Meniscus nöthige Druck proportional ist. Bei Gelegenheit von Versuchen (die mir übrigens eine uneingeschränkte Bestätigung dieser Angaben des Hrn. Lippmann ergaben), bin ich auf eine Art aufmerksam geworden, wie das Capillar-Elektrometer unbeschadet der völligen Richtigkeit der obigen Sätze, dennoch auch auf Widerstandsvariationen reagirt. Die Zeit, welche der Meniscus braucht, um seine neue Gleichgewichtslage aufzusuchen, wächst mit der Grösse der Widerstandssumme im Kreise, wie ich dies in meiner Abhandlung[2]) beschrieben habe. Ich habe schon damals mitgetheilt, dass die Geschwindigkeit der Einstellung bei der Schliessung eines metallischen Bogens durch Hinzufügen eines Widerstandes von der Grössenordnung, der der Widerstand eines Froschnerven bei physiologischen Versuchen angehört, nicht merklich beeinflusst wird. Das begreift sich leicht, wenn man bedenkt, dass der Widerstand, den das unterste, engste, von sauerem Wasser erfüllte Stück der Capillare bedingt, mindestens von derselben, wenn nicht von einer höheren Grössenordnung ist, als der eines, zwar mehrere Male längeren, aber mehrere hundert Male dickeren Froschnervenstückes. Einschaltung von Widerständen, die der Grössenordnung von 10^6 S. E. oder Ohm angehören, bedingt aber bereits eine ganz deutliche Verlangsamung der Einstellung — selbstverständlich, ohne auch nur den allergeringsten Einfluss auf den Punkt der Einstellung zu nehmen. — Nachdem ich

---

[1]) G. Lippmann in Poggendorff's *Annalen der Physik und Chemie.* 1873. Bd. CXLIX. S. 546 ff.

[2]) *Dieses Archiv.* 1879. S. 278. — Die Verzögerung durch den Widerstand des Säurefadens selbst, hat schon Hr. Lippmann bemerkt (a. a. O. S. 557).

bemerkt hatte, dass das Capillar-Elektrometer[1]) von vornherein alle Eigenschaften besitzt, welche erforderlich sind für die Ausführung dieses, von Hrn. E. du Bois-Reymond — gewiss mit vollem Rechte — als maassgebend bezeichneten Versuches, so konnte ich dem Reize nicht widerstehen, ihn auch wirklich auszuführen, obwohl ich mich dadurch auf ein gerade jetzt von mehreren Seiten bearbeitetes, und so lebhaft discutirtes Gebiet begab, dass mir eigentlich das Betreten desselben an und für sich nicht verlockend erscheinen konnte.

Doch ich will einstweilen die sich aufdrängenden Beziehungen zur Litteratur für spätere Erledigung zurückschieben, und vorderhand in der Beschreibung der Versuchsanordnung fortfahren.

Bei den Versuchen, mittels deren die merkwürdige Antwort erhalten wurde, welche das Capillar-Elektrometer auf die, oben mit Hrn. du Bois-Reymond's Worten gestellte Frage zu geben hat, diente als Stromquelle eine 20 gliedrige Thermosäule (*Th.* Fig. 3) nach Noë, deren in Sternform angeordnete Glieder ich mir einzeln zu den 20 in gerader Linie angeordneten Contacten eines Stromwählers (*W*) habe ableiten lassen. Auf einem messingnen, der Reihe der Contacte parallel verlaufenden Prisma ist eine Metallhülse leitend und gleitend verschiebbar, von welcher, unter einem rechten Winkel, eine kurze Metallfeder gegen die Contacte zu abgeht. Diese federnde Zunge trägt an ihrer Spitze eine rundliche Metallplatte, mit der sie einen der Contacte berührt — je nach der Stellung der Hülse auf dem Prisma. Die Verbindungen sind der Art, dass, wenn die Schleiffeder mit ihrem vorderen Ende auf dem 12. Contacte ruht, 12 Glieder der Thermosäule hintereinander im Stromkreise sind. Die den Thermosäulen in Sternform beigegebene Spirituslampe ist, wegen der allmählichen Erwärmung des Alcohols, ganz unbrauchbar, wo nur einige Constanz der Säule erforderlich

[1]) Da man unter dem Namen „Elektrometer" Instrumente versteht, welche, in Verbindung gesetzt mit einem Punkte einer statisch geladenen Oberfläche das electrische Potential dieses Punktes messend mit dem der Erde vergleichen, und da das Lippmann'sche Instrument einen ganz anderen Zweck erfüllt, so gebührt ihm eigentlich eine ganz andere Bezeichnung. Es misst eine Strom-Dimension, ist sonach ein Galvanometer, da es aber eine von der Stärke verschiedene Dimension misst, so ist es kein gewöhnliches, sondern ein „Kraft-Galvanometer" oder ein „Galvano-Dynamometer" — oder, um einem neuen Ding auch einen neuen Namen zu geben, ein „Rhomometer", von *ῥώμη*, die Kraft; wie man ja auch aus *ψυχή*: Psychologie gebildet hat, und aus *τέχνη* die analoge Zusammensetzung, die übrigens durch das, bei Aristoteles vorkommende: *τεχνολογεῖν* ganz gerechtfertigt erscheint. Plutarch und Spätere haben sogar: *τεχνολογία*.

ist; ich habe sie durch einen passend angebrachten Bunsen'schen Brenner ersetzt, und finde den Strom der Säule, welche natürlich vor Luftzug geschützt ist, von erstaunlicher Constanz.

Ehe ich nun die übrige — sehr einfache und ganz selbstverständliche — Versuchsanordnnng beschreibe, muss ich noch einer sehr erfreulichen und bequemen Eigenschaft Erwähnung thun, welche die Capillare besitzt, die ich meistens bei diesen Versuchen verwendet habe. Diese Capillare (nach Art der oben beschriebenen hergestellt, und mit einer angeschliffenen Facette versehen), welche übrigens jetzt bereits seit mehr als 4 Jahren Dienste thut, giebt für elektromotorische Kräfte zwischen Null und $1/5$ Daniell Ausschläge, welche den elektromotorischen Kräften ganz genau proportional sind,[1]) wodurch das Arbeiten mit ihr ausserordentlich vereinfacht und beschleunigt wird. Bei der schwachen Vergrösserung, mit welcher die ersten Versuche angestellt wurden, entspricht ein Intervall meiner Ocular-Scala gerade: $1/200$ Daniell. Stelle ich den Meniscus in seiner Ruhelage auf den, die ganze Ocular-Scala hälftenden Theilstrich, also in die Mitte des Gesichtsfeldes ein, so ist, da die Ströme bekanntlich nur in einer Richtung (von der Spitze gegen die Basis der Capillare) verlaufen dürfen, nur die eine Hälfte der Ocular-Scala verwendbar. Diese Hälfte besteht aus 50 Theilstrichen. Es ist also, unter den genannten Verhältnissen, da sich Fünftel-Intervalle noch mit grosser Leichtigkeit und Sicherheit schätzen lassen, die Möglichkeit geboten, elektromotorische Kräfte zwischen Null und $1/5$ Daniell (und noch etwas darüber) mit einer Genauigkeit von mindestens $1/1000$ Daniell durch einen einfachen Blick in das Beobachtungs-Mikroskop zu messen — ein Vortheil, den Niemand gering veranschlagen wird, der mit der sonstigen Schwierigkeit solcher Messungen aus eigener Erfahrung bekannt ist.

Wie weit die Genauigkeit der Messung bei der Anwendung stärkerer Objectiv-Systeme steigt, wird später an passender Stelle auseinander gesetzt werden. Das bei der geschilderten Anordnung verwendete Objectiv war ein System Nr. 2 von Reichert, mit einer Aequivalent-Brennweite von 30 mm, und einer Linearvergrösserung von 35, unter den üblichen,[2]) solchen Angaben zu Grunde gelegten Annahmen. Es ist vielleicht nicht überflüssig, zu bemerken, dass

---

[1]) Zwischen $1/5$ und $1/4$ Daniell zeigt sich die erste Spur der Abweichung von der Proportionalität. Bei etwas grösseren elektromotorischen Kräften ist von letzterer nichts mehr zu bemerken.

[2]) Tubuslänge von 160 mm — das erwähnte Ocular — 250 mm Projectionsdistanz.

die obige Behauptung von der Proportionalität zwischen elektromotorischen Kräften, und Grösse der Verschiebung des Meniscus zwischen 0 und $^1/_5$ Daniell, nicht bloss auf der Beobachtung der Ausschläge beruht, welche diese, meine Capillare giebt bei Einschaltung von 0, 1, 2, 3, 4 Thermoelementen in den Kreis (wobei die Meniscus-Tangente sich der Reihe nach, bei sehr zahlreichen Wiederholungen immer wieder auf 0, 10, 20, 30, 40 einstellte), sondern dass ich mich durch directe Kraftmessungen von der vollständigen Gleichwerthigkeit der in Betracht kommenden Glieder meiner Thermokette überzeugt habe, ebenso wie auch die, zur Reposition der genannten Verschiebungen des Meniscus erforderlichen Druckhöhen, diesen Verschiebungen (innerhalb der angegebenen Grenzen) vollständig proportional waren.

Die Versuchsanordnung, welche zur Beantwortung der uns beschäftigenden Frage zu dienen hat, ergiebt sich aus der Berücksichtigung der einzelnen, in Betracht kommenden Momente ganz von selbst. Das Capillar-Elektrometer muss mittels des du Bois-Reymond'schen Schlüssels mit Quecksilber-Contacten in einen Kreis eingeschaltet werden können, welcher — nach Belieben — entweder nur den, durch eine abstufbare elektromotorische Kraft erzeugten Srom, oder nur ein Paar unpolarisirbarer Elektroden, die entweder durch einen indifferenten Leiter oder durch einen lebenden Nerven mit einander verbunden sind, oder Stromquelle und Elektroden zugleich — natürlich in einfacher linearer Bahn, also „hintereinander" enthält, wobei auch noch der Forderung zu genügen ist, dass der Strom unter allen Umständen nur in der einen, vorgeschriebenen Richtung durch das Capillar-Elektrometer gehen darf, jedoch nach Belieben in der einen oder der anderen Richtung durch die interpolare[1]) Strecke des Nerven muss gesendet werden können. Diesen Forderungen ist zu entsprechen durch eine Anordnung, welche ausser den bereits aufgezählten Apparaten nur noch drei Pohl'sche Wippen (Commutatoren) zu enthalten braucht: zwei mit herausgenommenem, und eine mit belassenem Commutationskreuz.

Die Wippe mit Kreuz wird natürlich unmittelbar vor den unpolarisirbaren Elektroden stehen, über die der Nerv gebrückt ist,

---

[1]) Ich erlaube mir seit jeher, da wo man allgemein den Ausdruck „intrapolar" verwendet, interpolar zu sagen. Die interpolare Strecke ist eindeutig: die zwischen den beiden Polen eingeschlossene; intrapolar mag auch die von dem einen Pol berührte Nervenstelle heissen, als die innerhalb dieses Poles gelegene Länge des Nerven.

und dazu dienen, den Versuchsstrom in beliebiger Richtung durch den Nerven zu schicken.

Jede der beiden anderen Wippen (ohne Kreuz) wird einen wesentlichen Bestandtheil entweder in den Kreis ein- oder aus ihm ausschalten, und in letzterem Falle, anstatt dieses Bestandtheiles, eine kurze, indifferente metallische Schliessung des Kreises besorgen.

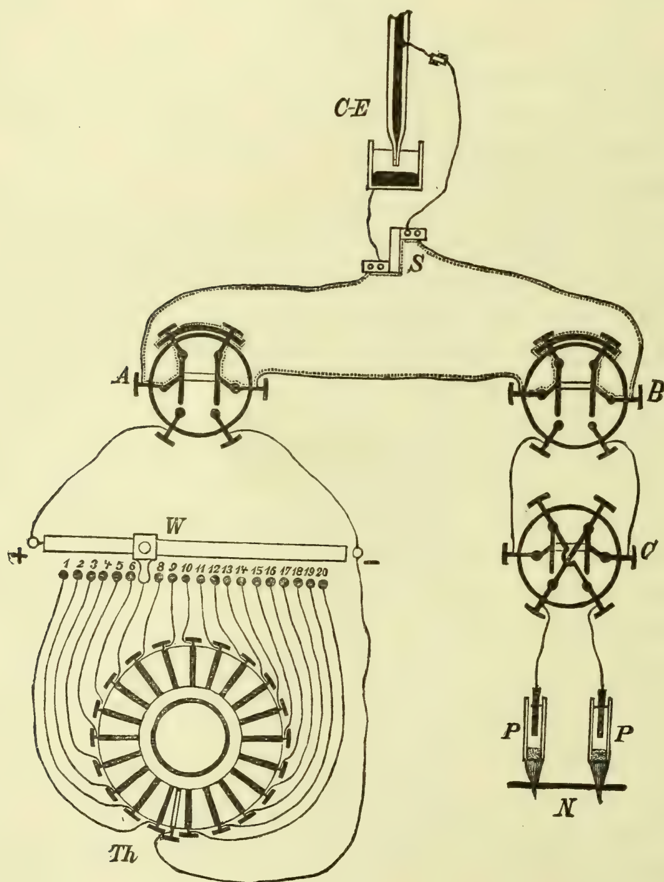


Fig. 3.

Auf diese letztere arbiträre Weise werden mit dem Capillar-Elektrometer-Kreise verbunden sein: 1) die mittelst des Stromwählers abstufbare elektromotorische Kraft, und 2) das Nerven-Präparat. — Hieraus ergiebt sich von selbst die, durch den beigedruckten Holzschnitt illustrirte Disposition.

Der grösseren Durchsichtigkeit zu Liebe gehen wir von einem einfachen, metallisch in sich geschlossenen Kreise aus (in der Figur punktirt), der an den drei Stellen *A*, *B* und *S* beweglich ist.

In der Lage, in welcher der Bügel von *A* gezeichnet ist, taucht er in ein paar Näpfe, die unter einander durch einen kurzen, dicken Leitungsdraht verbunden sind; dasselbe gilt von *B*.

Wird die Pohl'sche Wippe (ohne Kreuz) bei *A* aus der Stellung, in welcher sie gezeichnet ist, in die entgegengesetzte übergeführt, so enthält der Kreis die Stromquelle *Th*, und es kreist ein Strom in ihm, der bezüglich seiner elektromotorischen Kraft von der Stellung des Stromwählers *W* abhängt. Diesen Strom kann ich durch Oeffnen bei *S* durch das Capillar-Elektrometer (*C—E*) kreisen lassen, und an demselben messen.

Ich kann aber *A* in der Stellung lassen, in der es gezeichnet ist, und statt seiner *B* in die entgegengesetzte Lage überführen.

Dadurch wird in den vorher stromlosen Kreis der Nerv *N* aufgenommen, der über die unpolarisirbaren Pinsel-Elektroden *P*, *P* gebrückt ist. Von diesen geht die Leitung über den Commutator *C* nach *B*. Ist also *A* in der gezeichneten, *B* in der entgegengesetzten Stellung, so wird, wenn ich bei *S* öffne, der vom Nerven kommende Strom durch das Capillar-Elektrometer gehen, und an demselben gemessen werden können.

Sind beide Wippen, *A* und *B*, umgelegt, so befindet sich der Nerv *N* in der Bahn des von *Th* kommenden Stromes; und wird nun bei *S* die Nebenschliessung weggeräumt, so geht dieser Strom durch das Elektrometer.

Dafür, dass der von der Säule kommende Strom nie in der falschen Richtung durch das Capillar-Elektrometer geleitet werde sorgt man am besten dadurch, dass man keine Vorrichtung zum Commutiren zwischen letzterem und der Säule anbringt, sondern die Drähte ein für allemal in der richtigen Weise einspannt.

Hingegen muss der Commutator *C* aus mehreren Gründen an seinem Platze sein. Und zwar, erstens, um die elektromotorische Kraft, welche von den Elektroden *P*, oder vom Nerven stammt, in correcter Weise messen zu können, ferner um etwa von der Kraft des Längs-Querschnitt-Stromes eines Nerven vor Beginn des eigentlichen Versuches sich zu überzeugen u. s. w. Dann aber ist der Commutator *C* sehr erwünscht, wenn man eine feine Probe über die Stromlosigkeit des Nerven anstellen will. Das Auge am Beobachtungs-Mikroskop, wirft man, nachdem die Wippe *B* umgelegt, und bei *S* geöffnet ist, den Bügel von *C* mehrmals hin und her,

wobei, wie sich aus den Verbindungen der Figur von selbst ergiebt, der Nerv seinen Strom — falls überhaupt ein solcher von ihm ausgeht — alternirend in entgegengesetzten Richtungen durch das Elektrometer sendet, welches dadurch noch letzte Spuren von Strom anzeigen kann, die bei der einfachen Oeffnung von *S* nicht mehr erkennbar wären.

Auch wenn es im einzelnen Falle nicht gelungen ist, den Nerven in absolut unwirksamer Weise auf den Elektroden zu lagern, so ist es für die Beurtheilung des ganzen Versuches von der grössten Wichtigkeit, zu wissen, in welcher Richtung die Spur von Strom, die von dem Nerven ausgeht, sich im Versuchskreise bewegt — und es ist nicht minder wichtig, diese Richtung nach Belieben verändern zu können, durch Manipulation von *C*.

§. 3. Beziehung zu anderen Untersuchungen: Begrenzung der eigenen. — Resultat der Versuche im Allgemeinen. Bemerkung über dessen Glaubwürdigkeit. — Bedeutung des Capillar-Elektrometers für die Physiologie. —

Obwohl sich die vorliegende Schrift mit der Frage nach dem interpolaren Elektrotonus beschäftigt, so wird man dennoch vergeblich in ihr nach einer Anknüpfung an den Inhalt einer Abhandlung suchen, welche der Verfasser vor längerer Zeit unter dem Titel der hier hervorgehobenen Worte[1]) veröffentlicht hat, und zwar aus folgenden Gründen. Diese Abhandlung hat zweifache Berücksichtigung gefunden. In der einen von diesen[2]) wird eine Erklärungsweise eines von mir beobachteten Phänomenes vertheidigt, welche ich zwar in jener Abhandlung selbst auseinandergesetzt hatte, die mir jedoch nicht als zutreffend erschienen war; so dass ich mich schliesslich für eine andere Deutung[3]) entschieden hatte, die mithin in der erwähnten Abhandlung von Hrn. L. Hermann bestritten

---

[1]) E. v. Fleischl, *Untersuchungen über die Gesetze der Nervenerregung.* IV. Abhandlung. Der interpolare Elektrotonus. — *Wiener akademische Sitzungsberichte.* 1878. Bd. LXXVII. 3. Abthlg.

[2]) L. Hermann, Bemerkungen über das galvanische Verhalten einer durchflossenen Nervenstrecke. Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XIX. S. 416, 417.

[3]) Meine Schlüsse aus der daselbst beschriebenen Thatsache sind, wie das Weitere ergeben wird, sicherlich falsch, insofern aus dieser Thatsache auf die stationäre Veränderung der durchflossenen Strecke geschlossen wird; und da dies eben in meinen Erörterungen durchweg geschieht, so muss ich ihnen nunmehr allen Werth absprechen.

wird. Dann aber hat mich Hr. E. du Bois-Reymond,[1]) ohne sich direct gegen die von mir vertretene Ansicht zu erklären, doch auf Momente aufmerksam gemacht, welche bei dem von mir beobachteten Phänomene mit im Spiele gewesen sein mochten, und die zur Zeit, als ich jene Beobachtungen anstellte, noch nicht bekannt waren. So wichtig es mir nun auch sein mag, diese Frage zu erledigen, und so naheliegend die hier sich bietende Gelegenheit hierfür auch scheinen mag, so wenig eignet sie sich in Wirklichkeit dazu. Die neuen Untersuchungen des Hrn. du Bois-Reymond beschäftigen sich nämlich mit der experimentellen Erforschung der elektrischen Zustände, die in der durchflossenen Strecke in den ersten Momenten nach der Einwirkung des Stromes auftreten, und der Verfasser bezeichnet seine Untersuchungen und Mittheilungen über diesen Gegenstand so ausdrücklich als noch nicht abgeschlossen, dass eine Einmischung in diese Sache jetzt noch mindestens als verfrüht erscheinen müsste — deshalb bleibt auch in der vorliegenden Schrift Alles, was sich möglicherweise mit dem Capillar-Elektrometer über dieses wechselvolle Initial-Stadium beobachten lassen könnte, unberücksichtigt; es sind vielmehr alle Angaben, die hier über den Stand des Meniscus gemacht werden, als solche anzusehen, welche sich auf einen vollkommen stationären Zustand beziehen. Hr. du Bois-Reymond bezeichnet zwar ausdrücklich als secundär-elektromotorische „ohne Rücksicht auf die Zeit ihres Hervortretens“, alle Erscheinungen, „welche ein fremder Strom als Strom, nicht als bloser Reiz, an Muskeln und Nerven erzeugt“, doch bin ich ganz beruhigt darüber, durch die vorliegende Mittheilung keiner der von ihm in Aussicht gestellten, künftigen Untersuchungen in unberechtigter Weise vorzugreifen. Es steht im Gegentheile das, was ich zu sagen habe, so ferne von Allem, was von irgend einer Seite vermuthet, von irgend einer Theorie vorausgesetzt worden ist, dass ich eben daraus das Recht ableiten zu dürfen glaube, auf die einzelnen Gegensätze gar nicht ausdrücklich hinzuweisen — sie sind zu grell, als dass sie übersehen werden könnten. Wer meine Resultate mit einer Theorie vereinbaren kann,[2]) der möge es thun; wer meine Resultate bezweifelt, der möge die Versuche wieder-

---

[1]) S. 39 seiner Abhandlung: Ueber secundär-elektromotorische Erscheinungen an Muskeln, Nerven und elektrischen Organen. *Sitzungsberichte der kgl. Akademie der Wissenschaften.* 1883. S. 343—405. — Separatabdruck (nach welchem ich citire S. 1—64. — *Dieses Archiv.* 1884. S. 1—63.

[2]) Was mir übrigens durchaus nicht unmöglich erscheint.

holen. — Ich beschränke mich vor der Hand auf die einfache Erzählung der Art, wie ich meine Versuche angestellt habe, und der Beobachtungen, die ich dabei gemacht habe, und wenn ich hier etwas discutire, so sind es lediglich meine eigenen Versuche und deren Bedingungen. Meine Versuche, in denen die elektromotorische Kraft eines Stromes mit rein anorganischer, und — die Flüssigkeit des Capillar-Elektrometers ausgenommen — rein metallischer Schliessung verglichen wurde: mit der elektromotorischen Kraft desselben Stromes, wenn in seine Bahn ein lebender Nerv mittels unpolarisirbarer Elektroden eingeschaltet war, wurden alle nach demselben Typus angestellt. Nachdem die übrigen Vorbereitungen getroffen waren, wurde (unter den selbstverständlichen Vorsichtsmaassregeln) der N. ischiadicus eines soeben geköpften, grossen Frosches herauspräparirt, und über ein Paar Pinsel-Elektroden gebrückt, die mit der Wippe *C* verbunden waren. Dieser Nerv wurde durch die Wippe *B* in den Kreis des Capillar-Elektrometers aufgenommen, während die Wippe *A* so gestellt war, dass die Thermosäule aus dem Kreise ausgeschaltet war. Bei der grossen Empfindlichkeit des Capillar-Elektrometers musste nun der Nerv sehr behutsam auf den Pinseln verschoben werden, bis eine solche Ableitung gefunden war, dass der Meniscus weder von dem Spiel des Schlüssels, noch von dem Umwerfen der Wippe *C* afficirt wurde. Die Ströme, die durch dieses Verschieben des Nerven annullirt werden mussten, stammten stets von diesem selbst, denn ich muss meinen Elektroden nachrühmen, dass sie, wenn die Pinsel selbst einander berührten, fast gar nie elektromotorisch wirksam waren. — War nun diese ganz unwirksame Anordnung gefunden, dann wurde zuerst durch Umlegen der Wippe *B* der Nerv aus dem Kreise entfernt, und statt seiner durch die Wippe *A* eine Anzahl Elemente der Thermosäule in den Kreis aufgenommen, deren elektromotorische Kraft durch Beobachtung des Ausschlages am Capillar-Elektrometer mehrmals gemessen, und bei allen Einzelablesungen einer Reihe immer als ganz constant befunden wurde.

Jetzt ist der Moment gekommen, einem recht naheliegenden, aber sehr groben Fehler aus dem Wege zu gehen. Hätte ich nämlich, während der Meniscus seine, der elektromotorischen Kraft der Thermoelemente entsprechende, neue Lage hatte, durch Umwerfen von *B*, den Nerven mit in den Kreis aufgenommen, und es hätte sich der Meniscus nicht gerührt, so wäre dadurch — gar nichts bewiesen gewesen. Da nämlich der Nerv an sich stromlos eingeschaltet war, und da das Capillar-Elektrometer, wie ich hin-

reichend betont habe,[1]) als automatischer Compensator von grösster Präcision jeden Strom in seinem Kreise[2]) vollständig vernichtet, so hätte ich auf diese Art einen stromlosen Nerven in einen Kreis eingeschaltet, in welchem zur Zeit der Einschaltung keine elektromotorische Kraft wirksam war; und ich wüsste nicht, woher da ein Ausschlag hätte kommen sollen. Es musste also folgendermaassen verfahren werden. Nachdem constatirt worden war, welche Wirkung die Kraft der Thermoelemente am Capillar-Elektrometer hervorbringt, wurde dieses durch seinen Schlüssel aus dem Kreise genommen, und statt seiner, vermittelst Umwerfen von *B*, der Nerv in den Kreis der Thermoelemente eingeschaltet. Kürzere oder längere Zeit[3]) nachdem dies besorgt war, wurde nun das Capillar-Elektrometer in diesen Kreis aufgenommen, und der Ausschlag den es jetzt gab, entsprach der elektromotorischen Kraft, die es im Kreise vorfand, also der, um die Kraft des interpolaren Elektrotonusstromes vermehrten (oder verminderten) elektromotorischen Kraft der Thermoelemente, und da der Ausschlag immer absolut identisch war mit dem zuerst — ohne Nerv — gemessenen, so sagt das Capillar-Elektrometer, dass der interpolare Zuwachs- oder Polarisations- oder Elektrotonus-Strom eine elektromotorische Kraft gleich Null hat — unter allen erdenklichen bisher dem Versuche unterzogenen Verhältnissen. Hatte ich, um nicht zu viel von der kostbaren Zeit nach der Präparation des Nerven zu verlieren, diesen in einer Lage auf den Pinseln gelassen, bei der ihm noch ein merklicher Rest von elektromotorischer Kraft zukam, so fand ich diesen Rest dann bei der entscheidenden Ablesung unverändert wieder vor, wie er sich algebraisch zu der, von der Thermosäule stammenden Kraft addirte, d. h., wie er — je nach der Lage der Wippe *C* — diese Kraft vermehrte oder verminderte, und zwar um den unveränderlichen eigenen Betrag, der ihm während der Einwirkung der Kraft der Säule auf den Nerven genau so wie vor und nach der Einwirkung dieser Kraft zukam. Das hatte ich am allerwenigsten erwartet, und ich hätte es auch Niemandem geglaubt, als dem Capillar-Elektrometer. Ich darf wohl

---

[1]) *Dies Archiv.* 1879. S. 282. Die Thatsache constatirte zuerst Hr. Lippmann (a. a. O. S. 551).

[2]) Bis zur Polarisationsgrenze zwischen Quecksilber und verdünnter Schwefelsäure — also ungefähr ein Volt.

[3]) Immerhin einige Secunden, nur in einem der bisher angestellten Versuche $2^1/_2$ Minuten.

hier die Bemerkung einschalten, dass die Anschauung von Hrn. E. Hering — wenn ich anders diesen Forscher richtig auffasse — mit meiner neuen Erfahrung nicht nur ohne Weiteres vereinbar ist, sondern mir zu ihrer consequenten Durchführung dieser Erfahrung zu bedürfen scheint. Wie die eigentlichen Theorien des Elektrotonus über den elektromotorischen Zustand der interpolaren Strecke denken, ist bekannt. Sie hatten bisher über diesen Zustand nur Postulate zu entwickeln, von denen allerdings keines mit dem Ergebnisse des Versuches übereinstimmt. Es erwächst nun aber die Aufgabe, zu überlegen, inwiefern diese Postulate wirklich und unausweichlich aus den Grundgedanken der Theorien hervorgehen, oder inwieweit die eine oder die andere Theorie die unerwartete Verneinung ihres Postulates mit Beibehaltung ihres Grundgedankens zu ertragen vermag, eine Ueberlegung, die jedoch erst am Platze sein wird, nach der Mittheilung einer Reihe anderer Versuche, die der zweite Theil enthalten wird, und deren Ergebnisse eine wichtige Rolle bei dieser Ueberlegung spielen.

Ich überschreite nun mit dem Folgenden allerdings die Grenze zwischen diesem und dem zweiten Theile meiner Abhandlung, in welchem das Versuchsmaterial vorgebracht und erörtert werden soll; ich kann aber nicht umhin, schon hier eine Probe aus diesem Material mitzutheilen. Ich hoffe hierdurch den Leser einigermaassen über die Verlässlichkeit der Thatsachen zu beruhigen, welche die Grundlage für die bereits vorgebrachten und für die noch vorzubringenden Erörterungen bilden.

Schon vor mehr als sechs Jahren habe ich Messungen über die Kraft des extrapolaren Elektrotonus mit dem Capillar-Elektrometer vorgenommen, und dieselben auch zum Theile (in Form einer Curve) veröffentlicht.[1] Ganz ähnliche Messungen habe ich jetzt vielfach wiederholt. Ich gebe die Zahlen einer solchen Messung,

[1] Untersuchung über die Gesetze der Nervenerregung. V. Abhandlung. Die Theorie des Elektrotonus. *Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften zu Wien.* 1878. Bd. LXXVIII. Abth. 3. — Da solche Messungen, welche Hr. S. Tschirjew publicirt hat, gleichfalls mit dem Capillarelektrometer gemacht sind, so erwähne ich ihrer hier. Die Capillare, mit der damals Hr. Tschirjew meistens arbeitete, benütze ich auch jetzt noch gelegentlich — sie ist von mittlerer Empfindlichkeit, verträgt aber die stärksten Vergrösserungen. Bei der von Hrn. Tschirjew verwendeten 125fachen Linear-Vergrösserung erscheint der Meniscus durch eine Kraft von ca 0·0006 Daniell um einen Theilstrich aus der Gleichgewichtslage verschoben. — Das Nähere im „Nachtrag zur Abhandlung über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrotonischen Vorgänge im Nerven“ von Dr. S. Tschirjew. *Dies Archiv.* 1879. S. 543—553.

um sie neben diejenigen Zahlen zu stellen, deren Verlässlichkeit sie verbürgen sollen.

22. Jan. 1884. Extrapolarer Elektrotonus. Spannweite der polarisirenden Elektroden: 5 Mm., ebendieselbe Spannweite haben die zum Capillar-Elektrometer ableitenden Elektroden. Unter Abstand (A) ist die Entfernung der beiden mittleren Elektroden von einander verstanden. Kraft des polarisirenden Stromes = 1 Daniell (D). Bei einem Abstande = 1 Mm. war die Kraft des gemessenen Elektrotonusstromes = $^1/_8$ Daniell. Bei A = 6 Mm. war die Kraft = $^1/_{20}$ D; bei A = 11 Mm. war die Kraft = $^1/_{150}$ D; bei A = 16 Mm. war sie = $^1/_{300}$ D u. s. w. Ist es nun möglich, nach solchen Erfahrungen über die Kraft des extrapolaren Elektrotonus, einem mit demselben Instrumente ausgeführten Versuche die Bedeutung eines Beweises abzusprechen, wenn dieser Versuch den folgenden Verlauf nimmt?

2. Febr. 1885. Interpolarer Elektrotonus. Der Nerv am Elektrometer in seiner endgültigen Lage gemessen, zeigt eine elektromotorische Kraft von $^1/_{200}$ Daniell. Die interpolare Strecke ist 25 Mm. lang. Der polarisirende Strom (8 Elemente der Thermosäule), für sich allein gemessen, zeigt eine, während des ganzen Versuches constante, elektromotorische Kraft von $^8/_{20} = {}^{80}/_{200}$ Daniell Der Strom wurde im Ganzen zehnmal, 5 mal in der einen (+), 5 mal in der anderen Richtung (—), durch den Nerven geleitet und gemessen. Jedesmal war (Strom + Nerv) = $^{81}/_{200}$ Daniell, (Strom — Nerv) = $^{79}/_{200}$ Daniell.

So weit ich davon entfernt bin, mir das Aufstellen von Regeln für die Forschung, oder das Ertheilen von Lehren und Rathschlägen zu erlauben, so mag ich doch meine Ueberzeugung nicht unterdrücken, dass bei sehr vielen elektrophysiologischen Versuchen die Ersetzung des Galvanometers durch das Capillar-Elektrometer wichtige Aufschlüsse bringen wird.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich zwei Punkte hervorheben. Erstens: dass meine Construction des Capillar-Elektrometers sich mir für die verschiedensten Aufgaben als ganz entsprechend erwiesen hat, im Gegensatze zu der ursprünglichen Form, und trotz des unbedingten Tadels, den ein Fachgenosse in einer physiologischen Zeitschrift von grosser Verbreitung über dieselbe ausgesprochen hat.[1]) Da an meinem Instrumente gerade die Haupthindernisse, welche sonst der allgemeineren Verbreitung des Apparates im Wege stehen

[1]) Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXXI. S. 605, Anm.

nämlich die gefürchtete Zerbrechlichkeit der Capillare, und Schwierigkeit ihrer Herstellung ganz beseitigt sind (durch die dem Instrumente beigegebenen nahezu unverwüstlichen Capillaren), so habe ich dieses abfällige Urtheil deshalb besonders bedauert, weil es — als das einzige Urtheil, das in physiologischen Kreisen überhaupt verlautbart ist — zwar eine gewisse Verbreitung meines Instrumentes unter Physikern nicht verhindert hat, möglicher Weise aber mit dazu beigetragen hat, dass dasselbe von physiologischen Arbeitsstätten beinah ganz ausgeschlossen blieb — und mit ihm die allgemeinere Anwendung des ganzen Principes in der Elektrophysiologie; denn dass Apparate von solcher Unverlässlichkeit, die zugleich bei der Verwendung mit so viel Noth und Aerger verbunden sind, wie die anderen mir bekannten Modelle, sehr bald wieder zur Seite gestellt wurden, nimmt mich nicht Wunder. — Zweitens warne ich aber nochmals ausdrücklich vor jeder Abweichung von den Regeln und Methoden, welche ich hier, sowie in meiner früheren Abhandlung für den Gebrauch des Capillar-Elektrometers aufgestellt habe, und welche nicht der Willkür, sondern der Erfahrung entsprungen sind. — Sollten die unerwarteten Ergebnisse dieser Untersuchung zu einer Wiederholung der von mir beschriebenen Versuche, und somit zur Anwendung von Capillar-Elektrometern veranlassen, so bitte ich zu berücksichtigen, dass die oben von einer meiner Capillaren beschriebene, weitgehende Proportionalität der Ausschläge mit der elektromotorischen Kraft eine Ausnahme ist, und dass im Allgemeinen Messungen dieser Kraft nur mittels des Repositions-Verfahrens zu geschehen haben, und — auch nicht einmal schätzungsweise — nach dem Ausschlage des Meniscus.

Nicht nur in unserem Falle, sondern auch in vielen anderen ist ja eine Entscheidung in der Frage zu treffen, ob eine Intensitätsänderung von einer Polarisation, — sagen wir ganz allgemein: von einer Veränderung der elektromotorischen Kräfte im Kreise herrührt; oder aber von einer Aenderung im Widerstande. Diese Entscheidungen, an die sich oft die wichtigsten Schlüsse knüpfen, sind bisher immer indirect getroffen worden, auf Umwegen; ganz so wie die bisher versuchten Lösungen der uns beschäftigenden Frage. Alle diese Untersuchungen sind nach meiner Ansicht mit dem Capillar-Elektrometer zu wiederholen. Für diese Nothwendigkeit wird vielleicht die vorliegende Untersuchung kein schlechtes Beispiel sein; und ich wage die Vorhersage, dass aus einer Untersuchung der elektrophysiologischen Fragen mit dem Capillar-Elektrometer dem

Begriffe des „Uebergangs-Widerstandes“ zunächst eine beträchtliche Umgestaltung erwachsen wird, nach Umfang und Inhalt, und dass auch im Gebiete der „inneren Widerstände“ Aenderungen unserer Anschauungen erfolgen werden.

§ 4. Erledigung einiger, sich aufdrängender, physikalischer Fragen.

Sowohl die Ausdehnung, welche diese Abhandlung bereits gewonnen hat, als auch der Umstand, dass viele nothwendige Versuche in der jetzigen Jahreszeit nicht angestellt werden können, hat mich zu dem Entschluss bewogen, einen „zweiten Theil“ des Ganzen für spätere Veröffentlichung abzusondern. Die Versuche, auf welche sich meine Angaben beziehen, sind nämlich bisher nur an Winterfröschen angestellt worden; und wenn auch diese Versuche durch die vollständige Uebereinstimmung ihrer Ergebnisse, so wie dadurch, dass die bei ihnen verwendeten Nerven sich in jeder Beziehung als normal erwiesen, vielleicht an und für sich hinreichen möchten, so scheint es mir doch gerathen, die Grundlage für eine so unerwartete und eingreifende Behauptung nach allen Seiten hin zu befestigen, und ich werde im zweiten Abschnitt, nachdem diese und andere Versuche an Frühlings- und Sommerfröschen angestellt sein werden, den experimentellen Theil dieser Untersuchung in hinreichender Ausführlichkeit darlegen.

Vorher aber ist es nothwendig, einen Zweifel zu beseitigen, der die Berechtigung anlangt, aus den Versuchen, die ich angestellt habe, selbst wenn man sie an und für sich als einwurfsfrei anerkennt, den Schluss zu ziehen, dass ein elektrischer Strom keinerlei Veränderung seiner elektromotorischen Kraft erfährt, wenn ein Stück eines lebenden Nerven in seine Bahn aufgenommen wird. In dieser Form ausgesprochen ist dieser Zweifel oder diese Frage rein physikalischer Natur.

Die Frage kann aber auch so gestellt werden: Folgt aus diesen Versuchen, dass in einem Nerven keinerlei elektromotorische Kräfte entstehen, wenn ein Strom durch ihn fliesst? In dieser Fassung jedoch hat die Frage ausser einem physikalischen Theil, der mit der obigen Frage zusammenfällt, noch einen physiologischen Theil, welcher nicht durch Ueberlegung, sondern durch den Versuch zu beantworten ist, und dessen Beantwortung denn auch in der Fortsetzung dieses Aufsatzes gefunden werden wird. Es könnte nämlich die algebraische Summe aller elektromotorischen Kräfte, die der Strom in dem, von ihm durchflossenen Nervenstücke hervorruft,

zwar stets gleich Null sein; aber nicht in Folge davon, dass der Strom an keiner Stelle des Nerven, den er durchfliesst, solche Kräfte erregt, sondern vielmehr in Folge davon, dass die Kräfte, welche der Strom in einem Theile der durchflossenen Strecke erregt, an Grösse gleich, an Richtung entgegengesetzt sind jenen Kräften, die der Strom in dem übrigen Theile der von ihm durchflossenen Nervenstrecke erregt — eine Anschauung, die sogar in dem elektrotonischen Verhalten der interpolaren Strecke, insofern man dasselbe nach der Erregbarkeit bemisst, von vornherein eine gewisse Stütze findet. Diese Untersuchung in den zweiten Theil verweisend, wollen wir uns hier zunächst mit der Frage beschäftigen, ob eine, von Null verschiedene Summe der elektromotorischen Kräfte, welche ein Strom in einem, von ihm durchflossenen Nervenstücke erzeugt, sich am Capillar-Elektrometer durch einen Ausschlag anzeigen müsste, der von dem Ausschlage verschieden ist, den der erregende Strom am Capillar-Elektrometer hervorbringt, wenn er nur durch dieses, und nicht auch durch den Nerven fliesst. Die Vorstellung, auf welcher diese Frage beruht, ist die folgende. Das Capillar-Elektrometer compensirt jeden Strom,[1]) in dessen Kreise es sich befindet. Wird es nun (nach Vermeidung des oben, S. 382, erwähnten Fehlers) in den Stromkreis aufgenommen, in welchem bis dahin die Thermokette und die interpolare Nervenstrecke sich befanden, und in dem möglicherweise ein Strom circulirte, der von der elektromotorischen Kraft der Kette, und von einer elektromotorischen Kraft des Nerven herrührte, welch' letztere jedoch erst durch erstere hervorgerufen worden war: — und compensirt es nun diese beiden elektromotorischen Kräfte, d. h.: die algebraische Summe derselben, so wird es dies vielleicht durch einen im ersten Moment veränderten Ausschlag thun; aber noch während dieser Ausschlag sich herausbildet, vernichtet das Capillar-Elektrometer die Kraft, die es im Kreise vorfindet, also die Entstehungsursache des, vom Nerven herrührenden Antheiles der Gesammtkraft, und der stationäre Zustand wird folglich nur der Kraft der Säule entsprechen. Eine solche Auffassung beruht jedoch auf einem Missverständnisse. Obwohl über den Vorgang im Capillar-Elektrometer, über die Art seiner Wirkung, noch keine befriedigende und anerkannte theoretische Anschauung existirt, so lässt sich doch ein solcher Einwand von vornherein zurückweisen, und übrigens ist er auch mit den

[1]) Selbstverständlich ist hier, wie an anderen, ähnlichen Stellen, nur von Strömen die Rede, deren Kraft unter der Polarisationsgrenze von Quecksilber und verdünnter Schwefelsäure bleibt, also 1 Daniell nur wenig übertrifft.

Resultaten einiger Versuche unvereinbar, welche ich eigens angestellt habe, um sie diesem Einwurfe entgegenzuhalten. Wenn der Strom, in dessen Kreise das Capillar-Elektrometer sich befindet, an vielen Stellen meiner früheren, und der vorliegenden Abhandlung als „compensirt“ bezeichnet wurde, so ist der Sinn dieser Behauptung kein anderer, als dass man sich, um der Erfahrung einen Ausdruck zu verleihen, den Strom, welcher im Kreise circulirte, ehe das Capillar-Elektrometer in diesem aufgenommen wurde, vom Momente an, in dem dieses Instrument in den Kreis eingeschaltet ward, als compensirt, als vernichtet durch einen gleichstarken Gegenstrom vorzustellen hat. Und zwar ist der Strom, den das Capillar-Elektrometer dauernd compensirt, in jedem einzelnen Falle genau der, der im Momente seiner Einschaltung im Kreise circulirte. Man könnte sich nun allerdings der Vorstellung überlassen, in einem Kreise, in dem kein Strom mehr circulire, sei auch keiner mehr zu compensiren. Zum Beispiel, eine Thermosäule, deren Strom durch ein Capillar-Elektrometer compensirt ist, so dass keine Spur von Strom mehr durch das empfindlichste Galvanometer in diesem Kreise nachzuweisen ist — eine solche Thermosäule könne nur dadurch in einem geschlossenen Kreise sich befinden, ohne einen Strom zu erregen, dass ihre Löthstellen paarweise die gleiche Temperatur hätten, welche Annahme einerseits sehr leicht durch den Versuch widerlegt werden kann, andererseits aber wieder nicht verstehen liesse, wesshalb denn der Ausschlag am Capillar-Elektrometer nicht zurückgeht auf Null — entsprechend der Stromlosigkeit des Kreises; sondern vielmehr bestehen bleibt. Es ist dies gerade so, wie bei der Wage. Ist auf derselben die Last durch das Gewicht compensirt, so besteht Gleichgewicht, es findet keine dynamische Wirkung im Systeme statt, und die Last sowohl wie das Gewicht benehmen sich, wie schwerlose Körper. Nichtsdestoweniger wird die Last vom Erdmittelpunkte dauernd mit einer ihrer Masse entsprechenden Kraft angezogen, welcher nur vorderhand durch die gleiche und entgegengesetzte Kraft, die das Gewicht anzieht, das Gleichgewicht gehalten wird.[1])

---

[1]) Um unseren Vergleich fortzusetzen, in welchem die Kraft der Kette durch die Last auf der einen Wagschale, die compensirende Kraft der Capillare durch das Gewicht auf der anderen Wagschale dargestellt wird, nehmen wir an, beim Sinken der Schale, in der die Last liegt, würde vermittelst einer Auslösungsvorrichtung auf diese Schale eine gewisse Last aufgelegt. Verfahren wir nun analog dem oben erwähnten Fehler, indem wir unseren Versuch mit der Wage so anstellen, dass wir diese gar nicht ausschwingen lassen mit alleiniger Belastung der einen Schale, so dass diese, da von vornherein Gleichgewicht hergestellt wurde,

Ein dem unsrigen sehr analoger Fall ist der folgende. In einen metallischen Kreis seien nach Belieben einzeln oder in beliebiger Zusammenstellung (durch Entfernung von Nebenschliessungen) einzuschalten: 1. Eine Daniell'sche Zelle, 2. Ein Capillar-Elektrometer, 3. Eine polarisirbare Anordnung, z. B. zwei Platinableche, die in verdünnte Schwefelsäure eintauchen, ein Voltameter, u. s. w. (nach dem Schema der Fig. 4). Schalte ich erst No. 1, die Kette, dann No. 2, das Capillar-Elektrometer ein, messe an letzterem die Kraft des Daniell'schen Elementes, und schalte dann, nachdem die Messung geschehen, und der Repositionsdruck wieder entfernt ist, No. 3: die Polarisationszelle ein, so handle ich analog dem Fehler, vor dem oben gewarnt wurde, ich bringe die Zelle in einen stromlosen Kreis, und kann keine Polarisation erwarten, bekomme auch keine zu sehen. Schalte ich aber, nach Messung von 1 durch 2, letzteres wieder aus, und dafür 3 ein, lasse den Strom von 1 eine Weile durch 3 gehen, und schalte zu diesen beiden dann auch 2 wieder ein, so werde ich jetzt einen geringeren Ausschlag am Capillar-Elektrometer bekommen, und dieser Ausschlag wird unverrückt bestehen bleiben. Wäre die, oben als unrichtig bezeichnete Anschauung richtig, so müsste ja, da kein Strom im Kreise herrscht, auch keine Polarisation bestehen. Man muss den Versuch, soll er vollkommen beweisend sein, mit einer so geringen elektromotorischen Kraft anstellen, dass in der Polarisationszelle keine sichtbare Abscheidung von Gasen stattfindet. Ich habe den Versuch mit meiner Thermosäule gemacht, und (wie bei den meisten Versuchen am Nerven) nur einige Glieder derselben verwendet. Als Polarisationszelle benützte ich eine kleine, mit einem Kork verschlossene, weit-

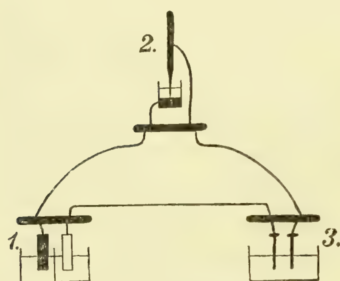


Fig. 4.

---

den Zuwachs durch die auszulösende Last gar nicht erhält, dann bekommen wir natürlich nur das der elektromotorischen Kraft der Kette entsprechende Gewicht. Lassen wir aber, wie bei unserer Art den Versuch anzustellen, die der Kette entsprechende Last erst ohne Gegengewicht wirken, so wird die Seite der Wage sinken, wird die Auslösung in Thätigkeit setzen, und einen Zuwachs an Last aufgelegt bekommen. Wenn nun jetzt ein Verfahren von uns angewendet wird, welches (gleich dem Capillar-Elektrometer) automatisch die andere Schale mit einem der drüben befindlichen Last gleichen Gewichte beschwert, so wird dieses der, um den Zuwachs vermehrten ursprünglichen Last, gleich sein müssen.

halsige Flasche. Durch den Kork gingen zwei Kupferdrähte, an welche Platinableche angelöthet waren. Die Flasche wurde theilweise mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, in welche die Platinableche mit ihren unteren Hälften eintauchten. Die Zelle wurde in die, durch Fig. 3 dargestellte Versuchsanordnung, an Stelle der unpolarisirbaren Pinsel-Elektroden eingeschaltet. Der Erfolg entsprach ganz den hier entwickelten Grundsätzen, doch war der Versuch in dieser Form sehr unbequem, wegen der bekannten Schwierigkeit, die Platinableche in saurem Wasser unwirksam zu bekommen. Viel zweckmässiger ist der Versuch, wenn man die Platinaelektroden möglichst klein an Oberfläche macht, also sogenannte Wollaston'sche Spitzen anwendet, in Glasröhren längs deren Axe eingeschmolzene Platinadrähte, die nur mit einem punktförmigen Querschnitt am Ende des Glasrohres zu Tage liegen. Diese kleinen Oberflächen sind viel leichter durch die bekannten Methoden elektrisch unwirksam zu machen, so dass der hier beschriebene Versuch mit diesen Elektroden leicht mehrmals hintereinander angestellt werden kann, was bei Verwendung von Platinablechen vollkommen unmöglich ist. Wurden diese Spitzen-Elektroden (in saurem Wasser) einige Secunden vor dem Elektrometer in den Kreis der Kette geschaltet, so blieb doch, trotz der Leichtigkeit und Schnelligkeit, mit der die Spitzen sich depolarisiren, der Ausschlag des Meniscus beliebig lange, z. B. mehrere Stunden lang in seiner ursprünglichen stark verminderten Grösse bestehen — wodurch jener Einwand wohl völlig beseitigt erscheint.

Nach dem ganzen Princip unserer heutigen physikalischen Weltanschauung kann das auch gar nicht anders erwartet werden. Das Capillar-Elektrometer erzeugt bei mechanischer Verschiebung einen galvanischen Strom, welcher so lange besteht, als die Bewegung des Meniscus dauert. Wird dieser, etwa durch den Druck einer Quecksilbersäule, in seiner neuen Lage festgehalten, so geht von dem Instrumente kein Strom aus. Denn die neue Gleichgewichtslage des Systems hat ja an sich nicht die Bedeutung einer continuirlich geleisteten Arbeit, wohl aber kommt die Bewegung des Meniscus durch Druck, so lange sie sich eben vollzieht, einer Arbeit gleich. In einer nassen Kette, oder in einer Thermosäule gehen chemische und thermische Processe vor sich, welche einen Verlust an potentieller Energie bedeuten, deren volles Aequivalent sich im galvanischen Strome, in der Erwärmung der Leiter u. s. w. in Form verwertheter oder verwerthbarer Arbeit wiederfindet. Dieser tritt nun das Capillar-Elektrometer mit seiner Bewegung entgegen, vernichtet

die Arbeit, die es vorfindet; und sobald dies geschehen, ist Ruhe und Gleichgewicht im Systeme — die Umwandlung in der Kette ist sistirt — dieser Zustand in seiner Dauer bedarf so wenig einer Arbeit, als das Capillar-Elektrometer in seiner neuen Stellung eine solche leistet — es ist ganz der Fall, wie wenn ein freifallender, schwerer Körper auf eine, seine Bewegung aufhaltende Unterlage trifft. Im ersten Momente wird er diese erwärmen, deformiren, er wird z. B. bis zu einer gewissen Tiefe in sie eindringen — dann aber ist Ruhe — dieselbe Ruhe, die das Galvanometer in einem Kreise anzeigt, in welchem eine Stromquelle und ein Capillar-Elektrometer sich befinden. Die Deformation aber, welche die Unterlage erlitten hat, hängt nur von der Kraft ab, mit der sie getroffen wurde, nämlich von der lebendigen Kraft der fallenden Masse, so wie die Deformation am Capillar-Elektrometer nur von der elektromotorischen Kraft, von der es eben betroffen wurde, abhängt. In diesen beiden Fällen wird durch ein Moment, welches einem, nach dem allgemeinen Gesetze aller conservativen Systeme sich abspielenden dynamischen Vorgange in den Arm fällt, an diesem Vorgange eine Arbeit geleistet, die, indem sie sich mit den Kräften, die sie vernichtet, zu Null aufhebt, einen stabilen Gleichgewichtszustand herstellt, einen Zustand, welcher, aller Spannungen, die innerhalb des neuen Systems bestehen mögen, ungeachtet, aus seiner relativen Ruhe nur durch eine äussere Einwirkung wieder zu befreien ist. Wer im Stande ist, an jenem Momente, das sich der lebendigen Kraft der Bewegung, diese vernichtend, entgegenwarf, noch nachträglich, aus der Beobachtung seiner Deformation, die Arbeit, die es bei jener Vernichtung geleistet hat, zu bemessen; der kann danach natürlich auch noch nachträglich die vernichtete Kraft bemessen: in dieser Lage befinden wir uns gegenüber dem Capillar-Elektrometer — obwohl wir über die besondere Art, durch welche es am Strome gerade so viel Arbeit leistet, als er elektromotorische Kraft besass, keine Auskunft zu geben vermögen. Das Capillar-Elektrometer vernichtet, compensirt also genau die Kraft, die sich ihm darbietet, ganz wie im vorigen Beispiele alle lebendige Kraft vernichtet wurde, abgesehen von dem Umstande, ob etwa ein Theil dieser lebendigen Kraft, wegen der besonderen Bedingungen des Systemes erst allmählich in Folge der Bewegung, die von einem anderen Theile herrührte, sich entwickelt hatte — sobald Gleichgewicht im Systeme herrscht, ist keine Kraft in ihm thätig; und wenn das Gleichgewicht zu einer bestimmten Zeit durch einen bestimmten Vorgang hergestellt wurde, und wir dies sicher wissen, so

wissen wir auch, dass dieser Vorgang der Summe der, zu jener Zeit im System wirksamen Kräfte, gleichwerthig war. War die ursprüngliche Kraft des Stromes zur Zeit als er vom Capillar-Elektrometer compensirt wurde, durch einen vom Strome ausgelösten Zuschuss positiver Polarisation vermehrt, so wird am Capillar-Elektrometer ein grösserer Ausschlag diese grössere Kraft dauernd anzeigen, und ein grösserer Repositionsdruck sie messen — ebenso, wenn durch die physikalische Polarisation die Kraft des Stromes vermindert ist, so wird dieses Instrument diese geringere Kraft dauernd mittels eines geringeren Ausschlages anzeigen, und wird sie durch einen geringeren Repositionsdruck messen. Von jenen inneren Zuständen, durch welche die hier betrachteten Gleichgewichtsfälle sich von einfachen Fällen statischen Gleichgewichtes unterscheiden, kann man sich auf verschiedene Art überzeugen. Da aber eine erschöpfende Untersuchung hierüber sehr weit führen würde, so erwähne ich nur den folgenden Versuch. Der Kupferpol eines Daniell'schen Elementes sei durch einen blanken Draht mit der unteren Quecksilbermasse eines Capillar-Elektrometers, der Zinkpol des Elementes mit der oberen Quecksilbermasse in der Capillare, ebenfalls durch einen blanken Draht, verbunden; und das Ganze sei gut isolirt aufgestellt. Der Meniscus in der Capillare ist unter dem Einfluss des Elementes dauernd verschoben. Wenn wir nun den einen der blanken Verbindungsdrähte mit der Erde leitend verbinden, indem wir von einem beliebigen Punkte desselben ableiten, so ändert sich dadurch, so viel zu sehen ist, nichts. Verbinden wir aber nun den anderen Leitungsdraht mit einem Thomson'schen Quadrant-Elektrometer, so bekommen wir an diesem einen Ausschlag, der derselbe ist, von welcher Stelle des Drahtes wir auch ableiten mögen, und der der ganzen Kraft eines Daniell's entspricht. An unserer ganzen Vorrichtung, besonders am Stand des Meniscus wird auch hierdurch keine sichtbare Veränderung herbeigeführt. — Ich habe diesen Versuch nicht wirklich angestellt, und führe ihn mit seinem selbstverständlichen Ergebniss an, weil er die Art des hier bestehenden Gleichgewichtes illustrirt. Der Versuch ist in Wirklichkeit vor fünf Jahren von meinem Freunde, Hrn. Franz Exner, Professor der Physik an der hiesigen Universität, an zwei Daniell'schen Elementen angestellt worden, die durch Drähte mit einander zu einem Kreise verbunden waren. Dieser Kreis war stromlos, wegen der gleichen und entgegengesetzten Kraft der beiden Elemente, deren eines, bei der obigen Anordnung, in Allem und Jedem durch das Capillar-Elektrometer ersetzt ist.

Hr. Franz Exner hat, wie aus der Darstellung, die er von diesem Versuche in seiner Abhandlung „Die Theorie des galvanischen Elementes“ (Wiener akad. Sitz. Ber., 82. Bd., 2. Abth. 1880) auf S. 419 giebt, den Versuch nur aus dem Grunde mit zwei Daniell'schen Elementen angestellt, weil ihm kein Voltameter zur Verfügung stand, welches, wie das Capillar-Elektrometer den Strom des einen Daniell wirklich, und mit absoluter Genauigkeit zu Null compensirt — denn auch bei dem Versuch, wie ihn mein Freund damals anstellte, war der zweite gegengespannte Daniell nur ein Ersatz. Für Hrn. F. Exner handelte es sich damals um genau denselben Fall, um den es sich mir hier handelt. Der Fall mit den beiden gegen einander geschalteten Daniell'schen Elementen wird sofort klar, wenn man diese Combination als das, was sie wirklich ist, nämlich als ein einziges, nicht geschlossenes Daniell'sches Element mit doppelt so grossen Kupfer- und Zink-Platten betrachtet. Um dieses Element in sich zu schliessen, müsste man einen Punkt des, die Zinke verbindenden Drahtes, mit einem Punkte des, die Kupferplatten untereinander verbindenden Drahtes, in leitende Verbindung setzen. Dass ein Pol eines offenen Elementes, dessen zweiter Pol zur Erde abgeleitet ist, eine freie Spannung zeigt, welche dem ganzen Unterschiede der Spannungen an den beiden Polen dieses Elementes gleich ist — das ist ja ganz allgemein bekannt. Da nun ein, in den Schliessungsbogen eines Daniell'schen Elementes gesetztes Capillar-Elektrometer ganz und gar dieselbe Rolle spielt, bezüglich des, vom Elemente ausgehenden Stromes, wie ein, in diesen Schliessungsbogen verkehrt eingeschaltetes zweites Daniell'sches Element, so hat man, dem eben Gesagten zufolge volles Recht, die Sache so aufzufassen, dass das Capillar-Elektrometer den Stromkreis, in den es eingeschaltet wird, zerreisst, ihn in einen nicht in sich geschlossenen verwandelt. Auch bei dieser Betrachtungsweise bleibt über die Berechtigung des Schlusses, den ich aus meinen Versuchen am Capillar-Elektrometer über den interpolaren Elektrotonusstrom ziehe, kein Zweifel bestehen.

Es ergiebt sich also aus der Betrachtung des früher erwähnten Falles der Vernichtung einer, als Bewegung von Materie sich äussernden lebendigen Kraft, mittelst eines Ruhe erzwingenden Widerstandes, der, in der Deformation die er hierbei erfahren, ein dauerndes Denkmal geworden ist für den Betrag der damals von ihm vernichteten lebendigen Kraft, indem es Jedem, der aus der Grösse der Deformation die hierfür verbrauchte Arbeit zu bestimmen vermag, auch die Grösse der lebendigen Kraft verkündet, die jener

Arbeit eben gewachsen war — aus der Betrachtung dieses Falles ergiebt sich, wie wir gesehen haben, nach allgemeinen mechanischen Grundsätzen dasselbe Resultat, welches auch der Versuch mit der Polarisationszelle im Kreise der Kette und des Capillar-Elektrometers ergeben hat. Dieser Versuch ist gewiss für diesen Fall sehr beweisend, da er eine so weit gehende Analogie besitzt mit dem eigentlichen Fall, den wir zu betrachten haben, nämlich mit dem des Nerven in gleicher Anordnung; dass man eigentlich — so lange über die Natur der im Nerven zu suchenden, vom polarisirenden Strome abhängigen Kraft keine nähere Annahme gemacht ist — einen Unterschied zwischen beiden Fällen gar nicht auffinden kann. Wegen dieser Beziehung zu einem, ohne nähere Betrachtung nicht zu erledigenden Bedenken, das jedoch für die Beurtheilung der experimentellen Grundlagen dieser Untersuchung sehr bedeutsam scheint, habe ich die Betrachtung dieses Falles der Polarisation nicht entbehren können; nachdem er uns geholfen hat, das erwähnte Bedenken völlig zu beseitigen, hat der besagte Fall unser Interesse erschöpft, wir bdürfen und erwähnen seiner nicht weiter, was ausdrücklich gesagt wird, um jegliche Vermuthung, als sei dieser Fall zum Behufe und als Einleitung einer Discussion von Theorien des Elektrotonus herangezogen worden, von vornherein zu beseitigen.

Eine solche Discussion ist — wie ich schon oben angedeutet habe — auf Grund der einen, hier mitgetheilten Thatsache gewiss noch nicht an der Zeit, wie Jeder daran bemerken kann, dass bei dem Versuche einer Verknüpfung dieser Thatsache mit dem bisherigen Besitz an hypothetischen Vorstellungen über den Elektrotonus, sich ihm sofort nachweisliche Fragen aufdrängen werden, auf welche die Antwort nicht bekannt ist. Diese Fragen sind es eben, welche hauptsächlich in den Versuchen, die im zweiten Theile zu beschreiben sind, ihre Antwort finden; und von denen ich in diesem ersten Theile noch ganz zu schweigen beschlossen habe, obwohl die eine und die andere von ihnen experimentell bereits erledigt ist, weil ich eben eine systematische Behandlung des Stoffes für den zweiten Theil vorhabe, und dort zu Wiederholungen dessen gezwungen wäre, was ich hier, noch Weiteres anticipirend, vorbringen würde.

Dass ich nicht mit der Veröffentlichung überhaupt gewartet habe, bis ich mit Allem fertig war, hat ausser Motiven privater Natur auch die Gründe, dass mir erstens die hier mitgetheilte Thatsache so unerwartet und merkwürdig erscheint, dass vielleicht schon dieser Umstand ihre isolirte Mittheilung und Besprechung rechtfertigt,

zweitens aber lassen sich bei der Erörterung der Versuchsbedingungen an diese Thatsache — wie wir gesehen haben — Regeln für physiologische Experimente mit dem Capillar-Elektrometer, und Grundsätze über die Beurtheilung der Ergebnisse solcher Experimente leicht und übersichtlich anknüpfen; und es wird erwünscht sein sich auf diese Regeln und Grundsätze in der späteren Darstellung einfach berufen zu dürfen. Hierfür aber ist es wichtig, aus der Aufnahme, welcher dieser erste Theil findet, zu erfahren, ob diese Standpunkte wirklich als hinreichend befestigt angesehen, und also künftig ohne Weiteres eingenommen werden dürfen.

Der Redensart, welcher man am Schlusse von vorläufigen oder fragmentarischen Mittheilungen so oft begegnet: „ich behalte mir . . . vor“ kann ich weder Sinn noch Berechtigung beimessen, und ich glaube, dass eine Andeutung über den Weg, den man zunächst einzuschlagen gedenkt, nur den Zweck haben kann, den Einfluss des Zufalls einzuschränken, und es Jedem in sein Belieben zu stellen, ob er Einen auf dem angegebenen Weg begleiten, begegnen oder vermeiden will. Nur in dieser Absicht bezeichne ich als Gegenstand der, für den zweiten Theil bestimmten, theilweise schon durchgeführten Versuche: die gleichzeitige Anwendung zweier Capillar-Elektrometer auf die Fragen des inter- und extrapolaren Elektrotonus, in dem Sinne, dass die bekannten mittels Intensitätsmessung zu unserer Kenntniss gelangten Veränderungen im elektromotorischen Verhalten gewisser Theile lebender Nerven, nun einer Prüfung und Messung durch die elektrische Capillare unterzogen wurden, oder werden sollen. Von den Experimenten, welche ich mit diesem neuen Behelfe zu wiederholen beschloss, sind auch solche, die eine gleichzeitige Untersuchung des Grades der Erregbarkeit involviren, nicht ausgeschlossen, ebensowenig jene Gruppe, welche sich mit der Rückwirkung dauernder Erregung auf polarisirende Ströme befasst, wie z. B. das bekannte Experiment von Hrn. Gruenhagen, bei welchem der Nerv an seinem einen Ende tetanisirt wird, und viele andere. Nur eine Beschränkung habe ich mir auferlegt, von deren Art und Beweggrund ich auch schon gesprochen habe: es ist die Beschränkung auf die Beobachtung stationärer Vorgänge oder Zustände. Sie hat übrigens ausser dem, am Anfang des § 3 angegebenen Grunde, einen weiteren Grund auch noch darin, dass behufs einer Anwendung des Capillar-Elektrometers auf die flüchtigen und wechselnden Zustände, unmittelbar nach der Einwirkung galvanischer Ströme auf die irritablen Gebilde, vorerst noch wieder eine Reihe

physikalischer und methodischer Fragen gelöst werden müssten. Hingegen habe ich Versuche an lebenden Muskeln, welche durch gewisse Angaben über stationäre, elektromotorische Veränderungen dieser Gebilde nahe gelegt waren, in den Plan meiner Untersuchung mit aufgenommen, deren ersten Theil ich hiermit schliesse

Der zweite Theil wird in kurzer Zeit nachfolgen.

Notiz zu der unlängst von Herrn E. du Bois-Reymond mitgetheilten neuen Beobachtung. (Hauchversuch.)

Hr. E. du Bois-Reymond veröffentlicht in dem soeben erschienenen Hefte seines Archives[1]) eine von ihm im Anschlusse an einen Vortrag des Herrn R. v. Helmholtz in der Berliner physikalischen Gesellschaft mitgetheilte, bisher noch nicht bekannte Methode zur Sichtbarmachung der ausgehauchten Luft in Form eines Nebelwölkchens, unter Umständen, welche das Entstehen einer Hauchwolke gewöhnlich ausschliessen, nämlich bei hoher Temperatur der Aussenluft, z. B. in sonniger Sommerluft. Die Methode besteht aus einer der Aushauchung unmittelbar vorhergehenden starken Compression der Luft im Respirationscavum bei völligem Verschluss der Communication des letzteren mit der Atmosphäre. Das Wesen der an derselben Stelle von Hrn. E. du Bois-Reymond gegebenen Erklärung dieser Erscheinung liegt in der Berücksichtigung der als Folge der Compression sich einstellenden Temperatursteigerung der Innenluft der Lunge, welche dann wieder Anlass wird zu einer erheblichen Vermehrung der zur Sättigung der solchermaassen überhitzten Lungenluft mit Wasserdampf erforderlichen Wasserquantität. Selbst die heisse, trockene Sommerluft ist dann genöthigt, einen Theil dieses Wasserquantums in Form einer Hauchwolke aus der Lösung fallen zu lassen.

Ich erlaube mir nun zu bemerken, dass sich die von Hrn. E. du Bois-Reymond für wesentlich erachteten Verhältnisse an einem sehr einfachen unorganischen Schema leicht reproduciren lassen, dessen Fähigkeit, in sehr heisser Luft gleichfalls Hauchwolken abzusondern, einem Beweis a fortiori für die Richtigkeit von Hrn. E. du Bois-Reymond's Erklärung gleichkommt.

---

[1]) Jahrgang 1886. S. 538.

Mein Schema ist im Vergleiche mit der, bei dem erwähnten Versuche functionirenden Menschenlunge einfacher in Folge des Wegfalles der ausserordentlichen Entwickelung der Feuchtigkeit abdunstenden Oberfläche, und scheint mir sogar noch dringender für die von Hrn. E. du Bois-Reymond als wirksamer Factor angerufene Temperatursteigerung durch Compression zu sprechen, als dies sein eigener Versuch vermag, weil in meinem Schema die verdunstende Wasserschichte ebenso wie die von ihr überzogene Wand von vornherein höchstens die Temperatur der Aussenluft, nicht aber die Temperatur einer Menschenlunge besitzt.

Mein ganzer Apparat besteht aus einer gewöhnlichen gläsernen Wundspritze, von welcher der den Hahn tragende Tubus abgeschraubt ist, so dass ihr unterer Abschluss bloss durch eine von einem grossen Loch central durchbohrte Querwand gebildet wird. In diese Spritze wird so viel Wasser eingefüllt, dass dieses, abgesehen von der zur theilweisen Benetzung der inneren Rohrwände erforderlichen Menge, den Kolben in einer wenige Millimeter hohen Lage bedeckt. Während der ganzen Verwendung der solchermaassen vorgerichteten Spritze zum eigentlichen Versuche bleibt der Handring derselben nach unten, die des Ansatzes beraubte vordere Schlussplatte, mit ihrer einstweilen noch freien centralen Bohrung aufwärts — die Spritze selbst also vertical gerichtet. In dieser Verfassung wird ihr ganzer Binnenraum, von dem wenigen darin befindlichen Wasser abgesehen, durch vollständiges Herunterziehen des Kolbens an die untere Schlussplatte, mit Luft — z. B. mit der in einem sehr stark geheizten Zimmer vorfindlichen — gefüllt. Dann verschliesst eine Fingerbeere der linken, den Stiefel der Spritze fest umklammernden Hand die obere Oeffnung hermetisch, während mit der rechten der Stempel möglichst tief in die Spritze eingetrieben wird, und zwar mit aller verfügbaren Kraft. An der eben erreichbaren Grenze angelangt, wird er von der rechten Hand sofort losgelassen, und kehrt nun theilweise, oder selbst ganz, in seine frühere Lage zurück, und nun wird ohne Verzug der Verschluss durch den Finger der linken Hand gelöst. Sowohl die Luft, die bei unvollkommener Rückkehr des Stempels dann von selbst aus dem Loch in der oberen Platte austritt, als auch die durch rasches Vorschieben des Kolbens aus dem Inneren der Spritze durch das Loch ausgetriebene Luft bildet hierbei oberhalb desselben schöne deutliche Nebel oder Hauchwolken. Etwa die Bemerkung ausgenommen, dass bei einzelnen Theilen des Phänomens eine, kurze Zeit andauernde Uebersättigung von Luft durch Wasserdämpfe mit in die Vorgänge sich

einzumischen scheint, braucht den Erläuterungen, mit denen Hr. E. du Bois-Reymond seine Darstellung des Exspirationsversuches ausgestattet hat, und durch welche er seine Beobachtung, und implicite die jetzt vorgetragene Erscheinung erklärt hat, weiter nichts hinzugefügt zu werden.

Wien, 27. September 1886.

Ueber willkürliche Bewegungen.

(Nach einem Vortrage, gehalten in der k. k. Gesellschaft der Ärzte in Wien, aus den „Wiener Medizinische Blätter", 1878. Nr. 39 und 40.)

Zu den merkwürdigsten Erscheinungen des thierischen Lebens gehören die willkürlichen Bewegungen. Freilich treten uns diese Bewegungen während unseres ganzen Lebens als etwas so Häufiges und als etwas so ohne jede Schwierigkeit sich Vollziehendes entgegen, dass wir uns des Staunens über sie vollständig entwöhnt haben. Die Herrschaft über unsere Glieder ist eine uns so geläufige Thatsache, dass wir uns, wie Jeder, der sich im unumschränkten Besitze einer Herrschaft befindet, wenig veranlasst sehen, nach den Ursachen und Bedingungen des vorhandenen, uns in so hohem Grade befriedigenden Zustandes der Dinge zu fragen.

Ich erinnere mich aber noch sehr deutlich des tiefen und nachhaltigen Erstaunens, in welches ich einmal als Knabe gerieth, als ich, durch eine ungeschickt ausgeführte Bewegung zum Nachdenken über den ganzen Process angeregt, mich plötzlich vor der Frage befand, woher es denn komme, dass, wenn ich den Entschluss gefasst habe, ein Trinkglas an meinen Mund zu führen, alle Theile meines rechten Armes in Bewegung gerathen, die Finger sich um das Glas legen u. s. w., kurz, woher es komme, dass mein Körper meinem Willen gehorcht.

Obwohl ich in späteren Jahren durch meine Beschäftigung mit der Physiologie, und besonders mit jenen Theilen der Physiologie, denen die Beantwortung solcher Fragen direct zukommt, Manches über den besprochenen Vorgang gelernt und erfahren habe, was denselben menschlichem Verstehen näher bringt, so muss ich doch sagen, dass der Theil des Vorganges, der mir damals als der räthselhafteste erschien, mir auch heute noch so wunderbar erscheint, wie damals. Diesen unerklärlichen Theil des Vorganges möchte ich zunächst charakterisiren und ihn dann aus guten Gründen ausscheiden

aus dem Gegenstande der folgenden physiologischen Betrachtungen.

Ohne uns auf inhaltslose Hypothesen zu berufen, können wir den ganzen Process einer willkürlichen Bewegung in folgende Stadien abtheilen.

Zunächst entsteht in uns, und zwar in den Centraltheilen unseres Nervensystemes (Gehirn, Rückenmark) aus irgend einer Veranlassung ein Etwas, das früher nicht da war. Dieses Etwas äussert sich in zweifacher Weise. Einmal tritt es in Beziehung zu unserem Bewusstsein und stellt sich diesem als Entschluss zur Ausführung der Bewegung dar, als Wille; und dann tritt es auch in Beziehung zu anderen Theilen unseres Nervensystemes, die fadenförmig aus dem Centrum austreten, und für die jenes Etwas, wie man sich auszudrücken pflegt, ein „Reiz“ ist.

Dies ist das erste, uns selbst in dieser schematischen Einfachheit, in welcher Complicationen, die in Wirklichkeit nie fehlen, unberücksichtigt gelassen sind, vollkommen unverständliche Stadium.

Im zweiten Stadium wird der „Reiz“ im Nervenfaden fortgeleitet bis an dessen anderes Ende, welches bekanntlich in die anatomischen Elemente des Muskels übergeht.

Im dritten Stadium wird der Muskel durch den ihm vom Nerven zugeführten Reiz zu einer Verkürzung seiner Fasern vermocht, womit dann, wegen der Befestigung des Muskels an gelenkig unter einander verbundene Knochen, die Bewegung gegeben ist.

Die Vorgänge, welche im zweiten und dritten Stadium ablaufen, bilden den Gegenstand der Nerven- und Muskelphysiologie, — während Philosophie, Psychologie und Physiologie den zweifelhaften Genuss, Hypothesen über die Vorgänge des ersten Stadiums aufstellen zu dürfen, einander streitig machen.

Die fundamentale Thatsache, welche der Physiologie ein tieferes Eindringen in das Verständniss der Erscheinungen des zweiten und dritten Stadiums möglich gemacht hat, besteht in der Ersetzbarkeit des „psychischen“ Reizes zur Bewegung durch andere Reize. Nicht nur der Entschluss, der Wille vermögen eine Muskelbewegung zu veranlassen, sondern auch ein elektrischer Strom, ein Druck, eine Aetzung, eine Erhitzung, bringen, wenn sie den motorischen Nerven oder den Muskel selbst betroffen haben, letzteren zu einer Zusammenziehung. Die Erscheinungsweise dieser Zusammenziehungen und

der sie begleitenden Umstände nach Anwendung von „künstlichen“ Reizen ist nun sehr gründlich studirt worden; die Hoffnung aber, aus der Vergleichung dieser Erscheinungen mit den Erscheinungen bei der willkürlichen Muskelzusammenziehung einen Schluss auf die Natur dieser letzteren und vielleicht auch auf das Wesen der „psychischen“ Reize machen zu können, hat sich bis jetzt nur sehr theilweise realisirt. Eine Hauptschwierigkeit für die Vergleichung beider Reihen von Erscheinungen untereinander liegt in der vollständigen Verschiedenheit zwischen der Form einer willkürlichen und der Form einer auf künstlichen Reiz eingetretenen Bewegung.

Unsere willkürlichen Bewegungen sind charakterisirt durch ihre Langsamkeit und Rundung, durch die allmälige Steigerung von Kraft und Geschwindigkeit, durch die feine Abstufbarkeit der Grösse, der Intensität, der Dauer der Bewegung, durch welche sie den allerverschiedensten Zwecken angepasst werden kann.

In grellem Gegensatze zu dieser Mannigfaltigkeit vermögen wir durch künstliche Reize eigentlich bloss zwei Arten von Bewegung an den Muskeln, mit denen wir experimentiren, hervorzubringen. Einmal kurze, abrupte Zuckungen, bei denen sich der Muskel binnen eines kleinen Bruchtheiles einer Secunde zusammenzieht, um sofort wieder zu erschlaffen und dann tetanische, starrkrampfartige Zusammenziehungen, bei denen sich der Muskel, wie bei den Zuckungen, jäh bis zu einem bestimmten Grade verkürzt, dann aber eine beliebige Zeit in diesem zusammengezogenen Zustande verharrt, um endlich wieder rasch zu erschlaffen.

Der Zusammenhang dieser beiden Arten von Contractionen, die wir durch künstliche Reize hervorrufen können, ist leicht einzusehen. Einem einmaligen, momentanen Reize folgt eine Zuckung. Einer Reihe rasch hintereinander folgender Reize wird eine eben solche Reihe von Zuckungen entsprechen. Während wir aber die Reize fast unbegrenzt nah' an einander rücken, oder — was dasselbe ist — rasch auf einander folgen lassen können, beginnen die Zuckungen, wenn sie sich über ein gewisses Maass einander nähern, unter einander zu verschmelzen. Es tritt eine Interferenz ein, eine Summation, in Folge deren der Muskel gar nicht dazu kommt, zwischen je zwei Zuckungen vollständig zu erschlaffen. Folgen die Reize auch nur so schnell auf einander, dass ihrer zwanzig bis dreissig in eine Secunde fallen, so wird dadurch der Wirbelthiermuskel schon in einen continuirlichen Zustand von Verkürzung, in einen Tetanus versetzt, in welchem die Effecte der einzelnen Reize

nicht mehr direct wiederzufinden sind. Rücken die einzelnen Reize der Zeit nach noch näher an einander, so wird, bis zu einer gewissen Grenze, der durch sie bewirkte Tetanus „höher", das heisst: die Verkürzung des Muskels wird eine beträchtlichere; ein Effect, der sich übrigens innerhalb bestimmter Grenzen auch durch Verstärkung der Reize erreichen lässt. Aber immer wird bei diesen künstlich hervorgerufenen tetanischen Zusammenziehungen der höchste Grad der Verkürzung des Muskels, welcher den Versuchsbedingungen entspricht, binnen sehr kurzer Zeit erreicht und hierdurch unterscheiden sich diese Bewegungen in ihrem Charakter so sehr von den natürlichen.

Vor etwa einem Jahre hat nun E. v. Brücke der hiesigen k. Akademie eine Abhandlung „über willkürliche und krampfhafte Bewegungen" vorgelegt, in welcher eine Analyse dieser Bewegungen enthalten ist, die zu einem Verständniss derselben führt. Was davon sich ohne Berufung auf zu specielle Sätze der Nerven- und Muskelphysiologie wiedergeben lässt, soll im Folgenden in Kürze dargestellt werden.

Zunächst ist die Frage zu erörtern, ob unsere willkürlichen Bewegungen der „Zuckung", oder ob sie dem „Tetanus" des Experimentes entsprechen.

Für die Entscheidung dieser Frage bietet sich sofort ein Versuch dar. Reizt man einen motorischen Nerven durch rasch auf einander folgende electrische Schläge, so verfällt der mit ihm in Verbindung stehende Muskel in Tetanus; und zwar nicht in Folge der directen Einwirkung der electrischen Ströme, denn diese gelangen ja gar nicht in den Muskel, sondern in Folge der ihm vom Nerven aus zugeführten Reize.

Nun ist aber bekanntlich der Muskel selbst Erzeugungsstätte electrischer Ströme, die man, so lange er ruht, als mit gleichmässiger Stärke in ihm circulirend annehmen muss. Jedesmal hingegen, wenn ihn ein Reiz trifft, nehmen diese in ihm kreisenden electrischen Ströme für einen Augenblick an Stärke ab; diese plötzliche, momentane Abnahme nennt man die negative Schwankung des Muskelstromes.

Nun kann man leicht einen Theil des Stromes, der sich in einem Muskel erzeugt, durch den Nerven eines anderen Muskels gehen lassen; wird dann der erste Muskel von seinem Nerven aus tetanisirt, so wirken die in ihm auftretenden negativen Schwankungen auf den zweiten, ihm bloss von aussen angelegten Nerven als eben

so viele Reize und machen, dass auch der zweite Muskel in Tetanus verfällt, in „secundären Tetanus“.

Wenn nämlich wegen der Häufigkeit der electrischen Reize die auf den ersten Nerven einwirken, die Zusammenziehungen des zugehörigen Muskels auch schon längst zu einem gleichförmigen Tetanus verschmolzen sind, so laufen doch in demselben Muskel die den einzelnen Impulsen entsprechenden negativen Schwankungen noch vollkommen getrennt von einander ab. Wenn nun die willkürlichen Zusammenziehungen der Muskeln tetanischer Natur wären, also einer Reihe von einzelnen Reizen entsprächen, so sollte man erwarten, dass sie im Stande wären, einen secundären Tetanus zu erregen. Das sind sie aber nach vielen übereinstimmenden Erfahrungen nicht im Stande.

Es wäre jedoch sehr voreilig, hieraus den Schluss zu ziehen, die continuirliche, willkürliche Muskelverkürzung baue sich nicht aus Einzelimpulsen auf. Um dies einzusehen, muss man sich an die Bedingungen erinnern, unter welchen electrische Ströme reizend auf Nerven wirken. Ein electrischer Strom reizt keinen Nerven, so lange er sich in seiner Intensität gar nicht oder langsam ändert, er reizt aber einen Nerven, sobald er eine jähe, wenn auch an sich geringfügige Veränderung seiner Intensität erfährt.

Wie sich nun der Muskel aus seinen Elementen zusammensetzt, so setzt sich auch der vom Muskel erzeugte Strom aus Theilen zusammen, welche von den histologischen Elementen des Muskels herrühren. Werden — wie bei elektrischer Reizung des Nerven — alle Fasern des Muskels gleichzeitig vom Reize betroffen, so erfahren alle Theilströme gleichzeitig eine negative Schwankung; — dies wird sich als ein jäher Absturz des Stromes des ganzen Muskels manifestiren, jäh genug, um auf den zweiten Nerven reizend zu wirken und eine secundäre Zuckung, und, bei rascher Wiederholung, einen secundären Tetanus des mit ihm verbundenen Muskels zu veranlassen.

Wenn hingegen dem ersten Muskel ebenso starke und ebenso viele Einzelreize zugeführt werden, wie in dem schon besprochenen Falle, wenn aber diese Einzelreize nicht für alle Fasern des Muskels zeitlich zusammenfallen, sondern über die verschiedenen Fasern in völliger Regellosigkeit der Zeit nach verstreut sind, so dass man etwa sagen könnte: in jedem Moment werden eine oder mehrere Fasern des Muskels gereizt und eine Uebereinstimmung herrscht nur insoferne, als auf jede Faser in der Secunde gleich viel Reize kommen, wie auf jede andere, dann wird zwar zu Beginn der ganzen

Reizfolge eine Abschwächung des Gesammtstromes des Muskels eintreten, die auch im Stande sein wird, eine secundäre Zuckung zu bewirken, aber nachher, während der Zusammenziehung des Muskels wird sein Strom auf dieser geringeren Höhe nahezu gleichmässig verharren und keinen secundären Tetanus zu veranlassen vermögen. Aus dieser Betrachtung geht also hervor, dass das Ausbleiben des secundären Tetanus nichts gegen den tetanischen Charakter der willkürlichen Bewegungen beweist, sondern nur die Annahme nöthig erscheinen lässt, dass die Reize in die einzelnen Muskelfasern nicht gleichzeitig als Salven eintreten, wie bei dem electrisch tetanisirten Muskel, sondern dass sie wie ein continuirlich unterhaltenes Pelotonfeuer erfolgen, bei dem auch jeder einzelne Mann, sagen wir, zwanzigmal in der Minute schiesst, bei dem aber der Lärm und der übrige Effect gleichartig über die ganze Zeit des Feuerns vertheilt ist. Die Entkräftung dieses aus dem Ausbleiben des secundären Tetanus hergeholten Argumentes gegen den tetanischen Charakter der willkürlichen Bewegungen ist aber um so wichtiger, als wir sonst allen Grund haben, die willkürliche Muskelverkürzung für eine besondere Art des Tetanus zu halten.

Für einen der einfachen Zuckung vergleichbaren Act kann wohl die willkürliche Bewegung nicht genommen werden, denn wie sollte ein einmaliger Impuls zu derartigen Bewegungen führen können? Wenn wir einen Arm horizontal ausgestreckt halten, so wirkt die Schwerkraft continuirlich auf ihn, er erhält fortwährend Beschleunigungen, welche gegen den Erdmittelpunkt gerichtet sind. Diesen kann nur durch eine continuirliche Gegenwirkung, durch entgegengesetzt gerichtete, fortwährend eintretende Beschleunigungen das Gleichgewicht gehalten werden. Dass aber in diesem Falle nicht etwa die Muskeln, welche den Arm horizontal schwebend halten, dies in der Weise leisten, dass sie sich in kurze unausdehnbare Stricke verwandeln, sondern dass sie die Leistung vermöge rhythmischer, in ihrem Innern sich vollziehender Einzelverkürzungen vollbringen, dafür spricht das Vorhandensein des Muskeltones, eines bekanntlich sehr tiefen Tones, den man an solchen angestrengten Muskeln auscultiren kann. Dass dieser Ton wiederum von den Perioden der Verkürzungen im Muskel herrührt, hat Helmholtz bewiesen, indem er zeigte, dass bei künstlicher Tetanisirung des Muskels vom Nerven aus durch eine Reizfolge, deren Periode sich direct bestimmen liess, der Muskelton sich in seiner Höhe immer jener Periode accomodirt. Hiernach wäre aus der Höhe des natürlichen Muskeltones auf etwa zwanzig Einzelreize zu schliessen, welche

jede Faser des willkürlich verkürzten Muskels in der Secunde erfährt. Wenn wir uns nach alledem sehr geneigt fühlen möchten, die willkürliche Contraction für eine Art von Tetanus zu halten so können wir doch die Schwierigkeit nicht übersehen, die sich der Erklärung des so langsamen Zustandekommens eines Tetanus gegenüberstellt. Der künstlich hervorgebrachte Tetanus bringt ja den Muskel sehr rasch auf das Maximum seiner Verkürzung. Schon der erste Reiz treibt den Muskel zu einer sich sehr rasch entwickelnden Verkürzung; ehe er Zeit hatte zu erschlaffen, vielleicht noch ehe er sich aufs Maximum verkürzt hat, trifft ihn der zweite Reiz; — lassen wir den zweiten Reiz später einwirken, so kommt kein Tetanus mehr zu Stande, sondern eine Reihe von Einzelzuckungen. Freilich, wenn man annehmen dürfte, dass die natürlichen Reize sehr schwach gemacht werden können, sobald es sich um subtile Bewegungen handelt; und wenn man wüsste, dass nach einem schwachen Reize der Muskel sich langsamer verkürzt — nicht nur schwächer, sondern auch langsamer — dann liesse sich das allmähliche, beliebig protrahirte Zustandekommen der grössten Verkürzung, sowie das Stehenbleiben auf jedem beliebigen Grade der Verkürzung bei der willkürlichen Bewegung leicht erklären.'

Diesen letzteren Satz nun, dass nämlich beim schwächer gereizten Muskel die Verkürzung um absolute Längen langsamer vor sich geht, als bei dem stärker gereizten Muskel, hat Brücke durch Versuche an Froschmuskeln, welche er mittelst eines eigenen, hier nicht näher zu erörternden Verfahrens anstellte, bewiesen und somit das Verbindungsglied geschaffen, welches einen Zusammenhang zwischen den willkürlichen und den tetanischen Bewegungen herstellt; welches den wirklichen Gebrauch, den wir von unseren Bewegungsorganen machen, verstehen lässt aus den Eigenschaften, welche die physiologische Forschung an diesen Organen kennen gelehrt hat.

In der Brücke'schen Abhandlung wird noch hingewiesen auf den Einfluss, welchen das Vorhandensein von Widerständen auf die Langsamkeit unserer Bewegungen hat, und auf die sehr wichtige Thatsache, dass wir da, wo wir naturgemäss keine solchen Widerstände antreffen, uns dieselben durch gleichzeitige Anspannung der Antagonisten verschaffen. Ferner wird der Zustand der Flexibilitas cerea bei der Katalepsie betrachtet und gezeigt, dass auch die besondere Thätigkeit der Muskeln in diesem Zustande nur auf der Art beruhe, wie ihnen pelotonfeuerartig Impulse zugeführt werden, die in ihrer Gesammtwirkung gerade ausreichen, um den Körper in

der ihm gegebenen Stellung zu erhalten. Unerklärt bleibt hierbei nur, wie die dem Körper gegebene Stellung gerade solche, und nur solche Impulse im Centralorgane auslöst, dass sie vermögen, eben jene Stellung zu erhalten; es liegt ein Kreis von Erscheinungen vor, von dem man nicht einsieht, warum er in sich selbst zurückläuft.

Auch von einer anderen pathologischen Erscheinung, vom Zittern findet sich eine, allen Details vollkommen genügende Erklärung in dieser Abhandlung.

Das gewöhnliche Zittern rührt von einer Ungenauigkeit in der Bemessung der für einen gewissen Zweck nöthigen Impulse her. Durch Aufmerksamkeit und besonders durch Uebung kann es abgestellt werden (Zeichenunterricht, Schiessübungen). Leicht ist einzusehen, warum bei Bewältigung schwererer Massen das Zittern heftiger wird. Je grösser die Impulse an sich sein müssen, um so schwieriger ist es, sie genau zu bemessen.

Nach geistiger Anstrengung, nach körperlicher Ermüdung leidet ebenfalls die Feinheit in der Bemessung der Impulse, bald sind sie zu stark, bald zu schwach für die gegebene Aufgabe und es tritt Zittern ein.

Ein aus centralen Ursachen erfolgendes periodisch wiederkehrendes Anschwellen und Nachlassen der Impulse erklärt das Zittern der Greise und den Nystagmus, doch kommen hiebei auch Pendelschwingungen der aus ihrem Gleichgewichte entfernten Massen mit in Betracht, beim Zittern der Greise wegen der Trägheit der Massen, des Kopfes zum Beispiel; beim Nystagmus wegen der elastischen Wirkung der gespannten Augenmuskeln. Endlich bei der Paralysis agitans ist die Gleichmässigkeit der pelotonfeuerartigen Entladungen in den Muskeln am schwersten gestört und es kommt zu Bewegungen, welche den isolirten Zuckungen näher stehen als dem Tetanus.

Eben wegen dieser vielfältigen Beziehungen auf pathologische Erscheinungen habe ich gemeint, dass die hier in Kürze referirte Untersuchung Brücke's auf Interesse auch bei dem grossen Kreise der praktischen Aerzte Anspruch hat.

Mittheilung, betreffend die Physiologie der Hirnrinde.

(Aus dem „Centralblatt für Physiologie“ vom 6. December 1890, Heft 18.)

Der Inhalt der in Nr. 16 dieses Blattes vom 8. November d. J. abgedruckten Originalmittheilung des Herrn Dr. A. Beck in Krakau, welche den Titel führt: „Die Bestimmung der Localisation der Gehirn- und Rückenmarksfunctionen vermittelst der elektrischen Erscheinungen“, gibt mir Anlass zur Veröffentlichung eines versiegelten Schreibens, welches ich im November des Jahres 1883 bei der hiesigen kaiserlichen Akademie der Wissenschaften hinterlegt habe, und dessen Eröffnung und Verlesung in der letzten Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe auf meinen Wunsch erfolgte, worüber mir vom Secretär dieser Classe, Herrn Prof. E. Suess, folgende amtliche Darstellung zugesandt wurde:

„Nr. 1026.

„Das mit Schnur und Siegel beigeheftete Schreiben des Herrn „Professor Dr. Ernst Fleischl v. Marxow wurde am 7. November „1883 von demselben in versiegeltem Umschlage bei der kais. Aka„demie der Wissenschaften in Wien hinterlegt, von der Kanzlei dieser „Akademie sub Nr. 979 (152) in Verwahrung genommen.

„Ueber Wunsch des Herrn Professor Dr. Ernst Fleischl „v. Marxow wurde der Umschlag bei unverletzten Siegeln in der „Sitzung der mathem.-naturw. Classe der Akademie am 20. November „l. J. vor der versammelten Classe eröffnet und der Inhalt des Schrei„bens vorgelesen.

„Wien, am 21. November 1890.

„E. Suess,
„Secretär der mathem.-naturw. Classe der
„kais. Akademie der Wissenschaften.

Der mit Schnur und Siegel dieser Zuschrift beigeheftete eröffnete Brief hat wörtlich und ohne Zufügung oder Auslassung folgenden Text:

Wien, 6. November 1883.

„Ich habe im Laufe dieses Jahres eine Reihe von Experi„menten an verschiedenen Thieren gemacht, deren Ergebniss mir „wichtig genug erscheint, um mir durch Hinterlegung dieses Schrei„bens bei der kaiserlichen Akademie meine Priorität bezüglich „dieses Fundes zu sichern.

„Leitet man zwei symmetrisch gelegene Punkte der Oberfläche „der Grosshirnhemisphären mittels unpolarisirbaren Elektroden zu „einem empfindlichen Galvanometer ab, so wird man an diesem „keinen oder einen sehr geringen Ausschlag gewahren. Reizt man „jedoch ein Sinnesorgan, dessen centrale Projection eine der zum „Galvanometer abgeleiteten Stellen ist, so wird man einen Aus„schlag in einem bestimmten Sinne erhalten. Reizt man das ent„sprechende Sinnesorgan der anderen Seite, so erhält man einen „Ausschlag im entgegengesetzten Sinne.

„Der Versuch gelingt z. B. sehr schön bei Ableitung der von „Munk als Centrum für die Gesichtswahrnehmungen bezeichneten „Stellen auf beiden Seiten, und abwechselnder Belichtung des einen „und des anderen Auges.

„Lässt man die ableitenden Elektroden an den eben genannten „Stellen liegen, und reizt das Thier durch Ammoniakdämpfe, die „man auf seine Nasenschleimhaut einwirken lässt, oder indem man „es an einer Extremität kneift oder mit einer heissen Nadel brennt, „so erhält man keine, oder nur äusserst schwache, offenbar durch „Stromschleifen bedingte Ausschläge. Es gelingt aber leicht, bei jeder „dieser Reizungsmethoden jene Stellen der Hirnoberfläche aufzu„finden, an welchen durch die betreffende Reizung starke Störungen „des elektrischen Gleichgewichtes bedingt werden, so dass man sich „dieses Umstandes als einer Methode zum Eruiren derjenigen Theile „der Hirnoberfläche bedienen kann, an welchen bestimmte sensorische „Reize in unser Bewusstsein hinübergeleitet werden.

„Chloroformirt man ein Thier, an welchem diese Versuche „gelungen sind, und wiederholt während der Narkose des Thieres „die Versuche, so bekommt man keine Spur eines Ausschlages am „Galvanometer. Lässt man das Thier erwachen und wiederholt die „Versuche nochmals, so erhält man wieder positive Resultate.

„Hieraus folgt erstens eine Bestätigung der aus den Versuchen „überhaupt gezogenen Schlüsse; und zweitens folgt daraus, dass die „Narkose durch Chloroform (und Aether) wirklich auf einer tempo„rären Lähmung der Gehirnoberfläche beruht — und nicht, wie „Einige glauben, auf einer Unterbrechung des Gedächtnisses.

„Diese Versuche gelangen nicht nur bei directer Ableitung „von der blosgelegten Hirnoberfläche, sondern auch bei Ableitung „von den entsprechenden Stellen der dura mater, ja sogar von den „des Periostes beraubten Schädelknochen.

„Man muss bei diesen Versuchen darauf achten, dass die Hirn-„rinde nicht auskühle, als wodurch sie offenbar auch gelähmt wird. „Es wird vielleicht sogar gelingen, durch Ableitung von der Kopf-„haut die durch verschieden psychische Acte am eigenen Gehirn „entstehenden Ströme wahrzunehmen.

„Prof. Ernst Fleischl v. Marxow."

Aus dem Inhalte dieses, volle sieben Jahre alten Schreibens geht wohl mit zweifelloser Sicherheit hervor, dass die Priorität der Entdeckung der — nach meiner Ansicht sehr bedeutsamen — Thatsache, dass die Bewusstseinsvorgänge von physikalisch nachweisbaren Veränderungen an der Materie begleitet, und mit ihnen untrennbar verbunden sind, nicht Herrn Dr. A. Beck, sondern mir gehört.

Auf die Differenzen in einigen Details unserer Beobachtungen einzugehen, bin ich ebensowenig gesonnen, als ich irgend einen Anlass zu kritischen Bemerkungen über die Mittheilung des Herrn Dr. A. Beck, oder zu einer ausführlichen Vergleichung des Werthes der beiderseitigen Untersuchungen finde.

Nur auf den einen Umstand möchte ich kurz hinweisen, dass in den Resultaten meiner Versuche die Antwort auf eine Frage enthalten ist, welche ihrer Natur nach bisher als überhaupt unbeantwortbar gegolten hat und gelten musste, nämlich auf die Frage, ob durch die Narkose eine Unterbrechung des Erinnerungsvermögens oder eine temporäre Vernichtung des Empfindungsvermögens bewirkt werde.

Fast überflüssig scheint mir schliesslich die Hervorhebung des Umstandes, dass, trotz der Berechtigung meiner Prioritätsansprüche, alles Verdienst, welches sich aus der Untersuchung des Herrn Dr. A. Beck ableiten lässt, vollständig unberührt bleibt, da er ja von der Existenz, geschweige denn von dem Inhalt meiner versiegelten Mittheilung an die kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Wien keine Kenntniss haben konnte.

Wien, 24. November 1890.

Ueber die wichtigsten Lebenseigenschaften der Nerven.

Vortrag, gehalten den 12. November 1890 im Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien.

Hochansehnliche Versammlung!

Wenn ich mich entschlossen habe, trotz der sehr erheblichen Schwierigkeiten, welche die Darstellung der Eigenschaften der lebenden Nerven darbietet, sowohl in Beziehung auf die theoretische Auseinandersetzung, als auch, und zwar ganz besonders, mit Rücksicht auf die damit verbundenen Experimente, dieses Thema zum Gegenstande meines heutigen Vortrages zu wählen, so ist dies auf Grund folgender Betrachtung geschehen:

Die Wirbelthiere — sprechen wir zunächst von den Menschen, als deren höchsten Repräsentanten — besitzen eine im wesentlichen von knöchernen Wänden gebildete Kapsel von im allgemeinen kugelförmiger Gestalt, an welche sich ein gegliederter röhrenförmiger Fortsatz anschliesst; und dieses Hohlsystem ist erfüllt von einer feuchten, elastischen, festweichen, markigen Masse, die aus sehr verschiedenartigen geweblichen Bestandtheilen zusammengesetzt ist, und welche man das Centralnervensystem zu nennen pflegt. Es besteht aus dem Gehirn und dem Rückenmark. Dieses Centralnervensystem steht in unzweifelhafter, aber anderseits wieder in für uns vollkommen dunkler Weise in Beziehung zu den Vorgängen unseres Bewusstseins. Denn so sicher wir wissen, dass das Gehirn und das Rückenmark der Sitz derjenigen Vorgänge sind, welche mit Bewusstseinsacten verbunden sind, so wenig haben wir auch nur eine Ahnung davon, auf welche Weise diese Verbindung gestaltet ist.

Nun sind sämmtliche Beziehungen, welche zwischen unseren Bewusstseinsakten und -Vorgängen einerseits und der Aussenwelt anderseits überhaupt existiren können, nothwendigerweise gebunden an die Leitung durch ein System von feinen Fäden, welche das Centralnervensystem mit der Peripherie des Körpers verbinden, und

zwar schon aus dem Grunde, weil überhaupt keine Beziehung zwischen der Aussenwelt und unserem Bewusstsein möglich oder denkbar ist, welche nicht vermittelt würde durch die einzig vorhandene, unser Centralnervensystem mit der Peripherie des Körpers verbindende Leitungsbahn der Nerven. Die grosse Bedeutung, welche zufolge dieser Betrachtung jener Leitungsbahn zukommt, war Anlass, dass es mir geschienen hat, die Eigenschaften dieser Bahn näher kennen zu lernen, sei von einigem Interesse.

Die Beziehungen unseres Bewusstseins zur Aussenwelt sind zunächst von zweierlei Art. Die eine Kategorie von Beziehungen besteht aus solchen, welche ihren Ursprung in unserem Bewusstsein nehmen, und ihren Erfolg in der Aussenwelt finden. Das sind also die Willensacte, durch welche Verschiebungen zunächst der Theile unseres Körpers, und sofort der mit ihnen in Contact befindichen beweglichen Theile der uns umgebenden Aussenwelt hervorgebracht werden. Hierbei findet eine Leitung statt, welche mit einer Erregung im Centralorgan beginnt, welche vom Centralorgan nach der Peripherie unseres Körpers gerichtet ist, und es wird das Erfolgorgan, nämlich der Muskel, mit welchem die aus feinen Fäden zusammengesetzte Leitungsbahn an ihrem peripheren Ende in Verbindung tritt, in Zusammenziehung versetzt, und infolge davon eine Bewegung hervorgebracht.

Die andere Kategorie von Beziehungen zwischen der Aussenwelt und uns besteht aus jenen Vorgängen, bei welchen bestimmte, mit eigenthümlichen Apparaten versehene Stellen der Oberfläche unseres Körpers dnrch gewisse Veränderungen in der Aussenwelt afficiert werden. Die mit diesen eigenthümlichen Apparaten in unmittelbarer Verbindung stehenden Nervenfasern leiten die Erregung nun in umgekehrter Richtung wie früher, nämlich von der Peripherie nach dem Centrum zu, und das Erfolgorgan, in welchem die schliessliche Veränderung stattfindet, ist unser Bewusstsein. Das sind die Sinnesnerven, überhaupt diejenigen Nerven, bei denen die Leitung in der Richtung von der Peripherie zum Centrum erfolgt.

Nun kann man sich bezüglich der Eigenschaften der Leitungsbahn selbst eine kaum absehbare Reihe von Fragen vorlegen; und es ist der Physiologie bisher gelungen, einige wenige von diesen Fragen zu beantworten.

Eine der ersten Fragen, die sich wohl jedem aufdrängt, der von einer solchen Fortleitung einer Erregung längs einer fadenförmigen Bahn hört, ist die nach den zeitlichen Verhältnissen. Bedarf es einer Zeit, damit die Erregung durch eine gewisse Strecke der

Leitungsbahn sich fortpflanze, oder bedarf es hierfür keiner, wenigstens keiner für uns merklichen Zeit; und wenn es eine für uns merkliche Zeit erfordert, damit eine endliche Strecke der Leitungsbahn von der Erregung durchmessen werde, wie gross ist die Zeit, welche nothwendig ist, damit die Längeneinheit, z. B. ein Centimeter oder ein Meter der Bahn von der Erregung durchmessen werde?

Nun ist die Beantwortung dieser, sowie aller übrigen auf die Nervenphysiologie sich beziehenden Fragen dadurch ausserordentlich erschwert, dass die Erregung der Nerven zu jenen Naturerscheinungen gehört, welche wie die Function so vieler anderen Organe mit keiner sinnfälligen Veränderung des betreffenden Organes verbunden sind.

Wenn wir ein Sinnesorgan besässen, welches uns über die verschiedenen Zustände, in denen sich die Nerven befinden können, in ähnlicher Weise belehrte, wie uns z. B. unser Auge über die Veränderungen der Farbe und der Helligkeit, unser Ohr über Schallverhältnisse belehrt, so wären wir in verhältnissmässig günstiger Lage beim Erforschen der Erscheinungen am Nerven.

Wenn es sich aber um das Studium von Erscheinungen handelt, die, wie z. B. die elektrischen, keine sinnfälligen Veränderungen hervorbringen — wir haben kein Sinnesorgan, welches uns über die Potenziale der einzelnen Oberflächenpunkte irgend eines Körpers unterrichtet — dann sind wir genöthigt, die betreffenden Gesetze, welchen sich diese Vorgänge unterordnen, an secundären Veränderungen zu studiren, wir sind genöthigt, die Sinnfälligkeit der Erscheinungen künstlich herbeizuführen.

Wenn wir den Nerven im Zustande der Erregung unterscheiden könnten vom Nerven im Zustande der Ruhe, so würden wir ausserordentlich viel mehr und viel genauere, und mit viel weniger Mühe erworbene Kenntnisse über die Eigenthümlichkeit der Nerven besitzen, als dem thätsächlich der Fall ist.

Wir sind nämlich gezwungen, uns über den Umstand, ob ein Nerv verändert sei oder nicht, zu unterrichten, dadurch, dass wir die Veränderung, die im Erfolgorgan vor sich geht, studieren. Ich habe schon früher erwähnt, dass es zwei Kategorien giebt; wenn wir als Erfolgerscheinung die Empfindung und die Sinneswahrnehmung wählen, dann können wir nur an unseren eigenen Nerven experimentiren; und da dies mit beträchtlichen Verwundungen unseres Körpers verknüpft wäre, so ist diese Art des Studiums der Erregung der Nerven vollkommen ausgeschlossen. Ausserdem giebt es, wie ich erwähnt habe, Nerven, welche ihr Erfolgorgan in der Peripherie

haben in Gestalt eines Muskels, welcher sich zusammenzieht, wenn die Erregung des Nerven im Muskel angelangt ist. Wir sind also hauptsächlich darauf angewiesen, aus den Veränderungen der Peripherie-Erfolgorgane, d. h. aus den Contractionen der mit den Nerven verbundenen Muskeln auf die Erregungszustände im Nerven zu schliessen.

Das ist ein beträchtlicher Umweg, welcher das Studium jeder einzelnen Erscheinung ausserordentlich erschwert; einen zweiten, noch viel weiteren Umweg, welchen wir in gewissen Fällen einzuschlagen genöthigt sind, werde ich später schildern.

Um nun über die Frage nach den zeitlichen Verhältnissen der Fortleitung der Erregung im Nerven vermittelst der genannten Methode etwas zu erfahren, hat sich Helmholtz in den fünfziger Jahren folgender sinn- und geistreichen Methode bedient:

Wenn es sich darum handelt, sehr kleine Zeittheilchen zu messen, so kann man dies nicht mit der Uhr thun. Es handelt sich darum, die Zeit zu messen, welche vergeht zwischen dem Momente, in welchem der Nerv an irgend einer bestimmten Stelle gereizt wird, und dem Momente, in welchem der mit diesem Nerven zusammenhängende Muskel eben anfängt, sich zu verkürzen, d. h. sich mit seinem unteren Ende von seiner Unterlage abzuheben. Diese Zeit zu messen, ist eine Aufgabe gewesen, welche ganz neue Methoden erfordert hat.

Helmholtz hat zunächst die sogenannte Pouillet'sche Zeitmessungsmethode in Anwendung gebracht; diese beruht auf folgender Ueberlegung:

Wenn Sie eine Magnetnadel so aufhängen, dass sie in horizontaler Ebene schwingen kann, und Sie führen um diese Magnetnadel in einiger Entfernung eine Drahtspirale herum, und lassen diesen Draht von einem elektrischen Strome durchfliessen, der andauert, so geräth von dem Momente an, in welchem der Strom geschlossen worden ist, die Magnetnadel in pendelartige Schwingungen, d. h. sie macht zuerst nach der einen Richtung einen weiten Ausschwung, und dann nach der anderen Richtung einen weniger weiten, und so nehmen die Oscillationen immer mehr ab, bis endlich die Magnetnadel in irgend einer abgelenkten Lage, ausserhalb des magnetischen Meridians, in dem sie sich befunden hat, so lange noch kein elektrischer Strom durch die Spirale gegangen ist, stehen bleibt.

Wenn Sie aber diesen elektrischen Strom, statt ihn dauernd geschlossen zu halten, durch eine so kurze Zeit geschlossen lassen, dass diese Zeit geradezu verschwindend klein ist im Vergleich mit der Zeit, welche die Magnetnadel braucht, um ihre erste Ausschwin-

gung zu machen, dann ist die Bewegung, welche die Magnetnadel in Folge der Einwirkung dieses so kurz dauernden Stromes ausführt, proportionell der Zeit, d. h. wenn die Zeit, welche die Magnetnadel gebraucht, um ihre erste Ausschwingung bei andauerndem Strome zu vollenden, eine Secunde war, und die erste Ausschwingung 60 Grad betragen hat, und Sie lassen jetzt den Strom nicht dauernd geschlossen, sondern nur während eines sechzigsten Theiles einer Secunde, dann wird die Magnetnadel nur einen Bogen von einem Grad durchschwingen. Das ist aber nur streng richtig, so lange die Zeit, während welcher der elektrische Strom in der Spirale geschlossen ist, verschwindend ist gegenüber der Zeit, welche die Magnetnadel braucht, um ihre wirkliche ganze erste Ausschwingung zu machen, die sie machen würde, wenn der Strom dauernd geschlossen bliebe.

Wenn man nun eine Vorrichtung hat, welche es ermöglicht, in demselben Momente, in welchem der Nerv gereizt wird, den Strom, welcher um die Magnetnadel geht, zu schliessen, und in dem Augenblicke, in dem der Muskel sich zusammenzuziehen beginnt, ihn wieder zu unterbrechen, so kann man aus dem Bogen, welchen die Magnetnadel durchschwungen hat, schliessen auf die Zeit, während welcher der elektrische Strom auf sie eingewirkt hat, und diese Zeit ist gleich der Zeit, welche zwischen der Reizung und dem Beginn des Erfolges gelegen ist.

Nach dieser Methode hat also Helmholtz die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Nerven folgendermassen zu bestimmen gesucht: Er hat vorausgesetzt, es gebe eine gewisse Zeit, welche nothwendig ist, bis der — sagen wir — elektrische Reiz, welcher hier auf den Nerven ausgeübt wird, in Erregung dieser Nervenstelle umgewandelt wird. Ferner geht diese Erregung mit endlicher Geschwindigkeit von der Reizstelle am Nerven über diesen bis zum Muskel hin. Dann braucht es möglicherweise eine Zeit, welche verstreicht, bevor die Erregung vom Nerven auf den Muskel übergegangen ist, und dann braucht es eine Zeit, bevor der erregte Muskel sich wirklich zu verkürzen beginnt.

Wenn ich nun den Nerven an irgend einer Stelle reize, so wird die Zeit, welche nothwendig ist, damit der elektrische Strom erregend wirkt, nicht anders sein, als an irgend einer anderen Stelle. Aber die Zeit, welche der elektrische Strom benöthigt, bis er erregend in den Muskel kommt, wird bei verschiedener Entfernung der gereizten Stelle des Nerven vom Muskel eine verschiedene sein, wenn überhaupt eine endliche und messbare Zeit verstreicht, weil ja das Stück Nerv das eine Mal ein kürzeres ist als das andere

Mal, welches von der Erregung zu durchfliessen ist. Die übrigen Zeitabschnitte, welche für die Vorgänge im Muskel in Anspruch genommen werden, sind voraussetzlich ebenso gross bei der Erregung dieser Nervenstelle wie bei der Erregung irgend einer anderen Stelle der Nervenbahn.

Wenn ich also einen Nerven zweimal an verschiedenen Stellen reize, das eine Mal möglichst weit entfernt vom Muskel, das andere Mal möglichst nahe am Muskel und beide Male die Zeit messe, welche zwischen dem Momente der Reizung und dem Momente der beginnenden Verkürzung des Muskels gelegen ist, und ich finde, dass die Zeit, welche verstreicht bei der Reizung an der vom Muskel entfernteren Stelle, länger ist als die Zeit, welche verstreicht, wenn ich den Nerven nahe am Muskel reize, dann weiss ich zunächst einmal, dass eine merkliche und messbare Zeit für das Fortschreiten der Erregung im Nerven in Anspruch genommen wird. Und wenn ich diese beiden Messungen genau genug durchgeführt habe, und die Resultate einfach von einander subtrahire, so bekomme ich die Zeit heraus, welche nothwendig ist, damit die Erregung von der ersten Reizungsstelle bis zur zweiten Reizungsstelle gelangt.

Wenn ich nun ausserdem noch den Abstand der beiden Stellen, an denen ich den Nerven gereizt habe, von einander messe, so kann ich aus der Differenz der Zeit und der Länge dieser Strecke die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven aufs einfachste berechnen.

Auf diese Weise hat Helmholtz vermittelst des Principes der Pouillet'schen Zeitmessungsmethode — ich kann hier auf die Details der Einrichtung unmöglich näher eingehen, so leid es mir thut, weil diese Details ausserordentlich sinnreich, aber auch sehr komplicirt sind — die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung zunächst in dem Schenkelnerven des Frosches bestimmt zu ungefähr 30 Metern in der Secunde.

Er hat dann, vermittelst einer ganz anderen Methode, auf einem rasch rotirenden, an seiner Oberfläche berussten Cylinder sowohl den Moment der Reizung, als auch den der Verkürzung des Muskels aufgeschrieben, so dass, wenn Sie sich die Mantelfläche des Cylinders abgewickelt denken auf die Ebene der Tafel, eine Figur beschrieben würde, welche aus einem Strich besteht, welcher den Moment der Reizung markiert, dann aus einer horizontalen Linie, welche die Zeit darstellt, welche zwischen der Reizung und der beginnenden Verkürzung des Muskels gelegen war, und dann aus einer ungefähr so gestalteten Curve, welche die Ver-

kürzung des Muskels bezeichnet. Wenn man nun die Umdrehungs-Geschwindigkeit des Cylinders kennt, und das Stück der Linie misst, welches zwischen dem Moment der Reizung und dem Punkte liegt, an welchem sich die Curve von der Horizontalen entfernt, so kann man aus diesen Daten ebenfalls auf die Zeit, die zwischen der Reizung und der beginnenden Verkürzung liegt, einen Schluss ziehen.

Nun ist aber die Art, wie sich diese Curve von der Horizontalen loslöst, eine solche, dass es ausserordentlich schwierig ist, zu sagen, wo eigentlich der Punkt ist, an welchem die Linie nicht mehr vollkommen gerade ist. Es wurde also nicht der Abstand dieses Punktes vom Reizzeichen gemessen, sondern Helmholtz hat die Abstände der höchsten Gipfel der Curven vom Reizzeichen bei seinen Messungen in Betracht genommen. Er hat dann zwei möglichst weit von einander entfernte Stellen des Nerven gereizt, und hat bei dieser Gelegenheit zwei Curven bekommen, welche, wenn sie gleich hoch waren, am besten bezüglich ihrer Differenz gemessen wurden durch die Entfernung ihrer Maxima von einander.

Dies ist die Differenz der Zeiten zwischen der Reizung und der beginnenden Zusammenziehung bei Reizung beider Stellen. Vermittelst dieser graphischen Methode hat sich nun in ganz unerwartet genauer Uebereinstimmung mit dem Ergebnisse, welches die Pouillet'sche Zeitmessungsmethode geliefert hatte, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ebenfalls zu 30 Metern in der Secunde herausgestellt.

Dann wurden von Helmholtz sowohl, als auch von anderen Forschern an den verschiedensten Nerven der verschiedensten Thiergattungen diese Messungen wiederholt, und es hat sich höchst auffallender Weise herausgestellt, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung eine im Wesentlichen constante ist, weder abhängig von der Gattung des Thieres, noch von der des Nerven, an welchem die Messung vorgenommen wurde.

Nun könnte man sagen: da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit 30 Meter, d. i. 100 Fuss, per Secunde beträgt, und ein Mensch im Allgemeinen 5 Fuss lang ist, werden selbst die längsten Nerven welche hier in Betracht kommen können, in einem für uns kaum merklichen Zeittheilchen von der Erregung durchlaufen werden.

Dem ist aber nicht in der ganzen Natur, und nicht ganz allgemein so.

Stellen Sie sich z. B. einen Walfisch vor, der 100 Fuss lang ist — das ist noch gar kein besonders grosser — den eine Wasserratte in den Schwanz beisst; da braucht es schon eine ganze Sekunde,

bis der Schmerz aus dem Schwanze durch den Nerven bis zum Walfischbewusstsein kommt. Nun will ich gar nicht davon reden, wie lange der Walfisch dazu braucht, sich zu überlegen, was er jetzt anfangen soll (Heiterkeit), ich will aber zu seinen Gunsten annehmen, dass er sofort entschlossen ist, durch einen heftigen Schlag mit dem Schweife sich gegen den Angriff des Feindes zu wehren, so wird doch wieder eine zweite Secunde verstreichen, bis die Erregung durch den motorischen Nerven aus dem Walfischbewusstsein bis zum Muskel im Schwanze herunter geleitet worden ist durch die Strecke von 100 Fuss, und während dieser zwei Sekunden hat die Wasserratte also vollommen freies Spiel. Und das ist eine ganz beträchtliche Zeit — zwei Secunden!

Eine andere Frage, die man sich vorlegen kann, und die von Interesse ist, ist die: Ich habe von zwei Kategorien von Nerven gesprochen, und die beiden Kategorien unterschieden von aus dem Centralnervensystem nach der Peripherie bei dem natürlichen Gebrauch der Nerven durchflossenen, und jenen anderen, welche bei dem natürlichen Gebrauch stets von der Peripherie nach dem Centrum die Erregung leiten. Sind die Nervenfasern, welche bei der natürlichen Verwendung ausschliesslich in einer bestimmten Richtung von der Erregung durchlaufen werden, überhaupt nicht fähig, in der entgegengesetzten Richtung eine Erregung zu leiten, oder werden sie blos deswegen nur in dieser einen Richtung durchlaufen, weil sie ebensowohl im Centrum als auch in der Peripherie mit bestimmten anderen Organen verbunden sind, aus deren Natur eben die Richtung, in welcher der Reiz durch den Nerven fliesst, mit Nothwendigkeit hervorgeht?

Die Antwort auf diese Frage ist schwierig zu geben gewesen, weil es sich darum handelte, einen Nerven, welcher in einer bestimmten Richtung leitet, an irgend einer Stelle seines Verlaufes zu reizen, und dann zu untersuchen, und zwar an beiden Seiten, ob der Nerv erregt ist oder nicht. Nun besitzt aber der Nerv nur an einem Ende ein Erfolgorgan; wie soll man merken, ob die Erregung auch nach der anderen Seite hin sich fortgepflanzt hat?

Hiefür wurde nun die Eigenschaft des Nerven in Anspruch genommen, dass jeder Punkt eines herausgeschnittenen noch lebenden Nerven ein anderes elektrisches Potentiale hat als jeder andere Punkt, d. h. soviel als (zeichnet): Wenn dies ein Nerv ist, und ich verbinde beispielsweise diesen Punkt der Oberfläche mit diesem Punkte des Querschnittes durch einen Leitungsdraht, dann geht ein constanter Strom durch diesen Draht; ebenso, wenn ich diesen Punkt

— hier — mit diesem Punkte des Querschnittes verbinde, so geht auch durch diese Strecke ein constanter Strom.

Wenn ich aber den Nerven errege — es ist dies eben eine Thatsache, die constatirt worden ist, und die Sie einfach als bestehend hinnehmen müssen — so existirt die merkwürdige Beziehung dass in dem Augenblicke, in welchem die Erregung über diese Stelle hinweggeht, die Stärke des elektrischen Stromes abnimmt, und zwar anfangs um ein geringes, dann um mehr, endlich um ein Maximum und schliesslich erreicht der Strom seine ursprüngliche Kraft wieder.

Während also die Erregung über den Nerven hinweggleitet mit einer Geschwindigkeit von 30 Metern in der Secunde, geht zugleich mit ihr eine Welle verminderter elektromotorischer Kraft hinweg. Man nennt diese Welle die negative Stromschwankung. Wenn man nun den Nerven hier, an dieser Stelle reizt, so zeigt sich, dass, wenn der Nerv z. B. bloss in dieser Richtung immer in Anspruch genommen worden ist, so lange er im Thierkörper functionirt hat, wenn dies z. B. ein motorischer Nerv ist, und der Muskel an diesem Ende hier angebracht war, nichtsdestoweniger die Erregung sich von dem Punkte, an welchem der Nerv gereizt worden ist, in vollkommen symmetrischer Weise nach beiden Seiten mit gleicher Geschwindigkeit und Stärke ausbreitet, so zwar, dass also die Nerven, welche immer in einer Richtung von der Erregung durchflossen werden, in der That fähig wären, auch in der entgegengesetzten Richtung zu leiten.

Welches sind nun die Methoden, welche wir haben, um den Nerven zu reizen? Herr Dr. Fuchs, Assistent an der hiesigen physiologischen Lehrkanzel, wird so freundlich sein, mich in meinen Versuchen zu unterstützen.

Wenn man einen Nerven reizen, und die Zusammenziehung studiren will, kann man nicht warten, bis das Thier, dem der Nerv und der Muskel gehört, sich entschliesst, eine Zusammenziehung dieses Muskels auszuführen, sondern man ist genöthigt, eine Thiergattung zu wählen, deren Nerven und Muskeln den Tod des Thieres um ein beträchtliches unbeschädigt überleben, den Nerven sammt dem Muskel herauszupräpariren aus dem frisch getödteten Thiere, und nun den Nerven an einer bestimmten Stelle zu reizen.

Die Mittel, welche man zur Reizung anwenden kann, sind von der verschiedensten Art. Es giebt kaum irgend eine lebhafte, rasch sich vollziehende Veränderung irgend eines Zustandes am Nerven, welche nicht mit einer Erregung desselben verbunden wäre. Wenn

man also den Nerven an einer Stelle mechanisch reizt, z. B. dadurch, dass man mit einer Schere ein Stückchen abschneidet, oder quetscht, oder plötzlich stark erwärmt, oder eine ätzende Substanz auf ihn niederfallen lässt, oder durch irgend eine Strecke desselben eine Schwankung des elektrischen Stromes durchgehen lässt, so werden alle diese verschiedenartigen Einwirkungen mit einer Erregung des Nerven verbunden sein.

Wenn man den Nerven der Einwirkung heftiger chemischen Agenzien oder einer starken, raschen Austrocknung unterzieht, dadurch, dass man ihn z. B. mit Kochsalzpulver bestreut, in allen diesen Fällen geräth der Nerv in Erregung. Nur muss man die zweierlei Arten von Erregungen, welche auf künstliche Weise herbeigeführt werden können, von einander unterscheiden.

Wenn man eine einmalige, rasche Veränderung am Nerven vornimmt, z. B. durch einen Scherenschlag, oder einen Inductionsstrom, der eine ausserordentlich kurze Zeit dauert, durch eine Strecke des Nerven laufen lässt, dann zieht sich der Muskel einmal rasch zusammen. Es giebt eine gewisse Grösse der Zusammenziehung, welche nicht überschritten werden kann, bei einer einmaligen Reizung des Nerven, selbst wenn der Reiz bis ins Unendliche fortwächst an Stärke. Wenn hingegen die Reize, welche den Nerven treffen, sich wiederholen, dann wird diese maximale Grösse, welche durch eine einmalige Reizung des Nerven und Zusammenziehung des Muskels erreicht werden konnte, durch eine Reihenfolge rasch auf einander folgender, verhältnissmässig viel schwächerer Reize überschritten, und der Muskel zieht sich nun um ein viel grösseres Stück zusammen, als er sich überhaupt zusammenziehen konnte auf einen einmaligen, noch so starken Reiz.

Da nun einem grösseren Publikum die Zusammenziehung eines Froschmuskels ohne Weiteres kaum demonstrirbar ist, so wählt man für derartige Demonstrationen einen Apparat, welcher im wesentlichen aus folgenden Stücken besteht: eine Säule, welche fest ist auf einer Platte, trägt eine Zange, und in diese Zange werden, von den Weichtheilen entblösst, die untersten Theile des Oberschenkelknochens eingespannt, an welchem der auf seine Zusammenziehung zu prüfende Muskel entspringt; in die Sehne des ganz freipräparierten Muskels wird ein kleiner Haken eingestochen, welcher an einem Faden befestigt ist, der sich um eine Welle herumwindet, an welcher sich ausserdem ein leichter Draht befindet mit einer an seinem freien Ende befestigten Papierscheibe. Wenn sich dann der Muskel zusammenzieht, kann er nur das eine Ende bewegen. (Redner han-

tiert an dem eben besprochenen Apparate, um einen Froschmuskel einzuspannen.)

Ich werde jetzt den Nerven reizen. (Geschieht.) Sehen Sie, so oft ich den elektrischen Strom durch den Nerven schicke, zuckt der Muskel einmal, die dabei vorkommenden Schwingungen sind rein elastischer Natur; jetzt werde ich aber eine Reihe von solchen Reizungen durch den Muskel schicken. (Geschieht.) Sehen Sie, um wie viel stärker sich der Muskel dabei contrahirt hat, als er sich contrahieren konnte auf einen einmaligen solchen Reiz. Dieser Einzelreiz ist bereits kolossal stark, stärker kann sich der Muskel auf einen einmaligen Reiz nicht zusammenziehen, als er sich auf diesen Reiz zusammenzieht, selbst wenn man einen Inductionsstrom von enormer Stärke durch den Nerven schickt. Wenn ich aber einen viel schwächeren Inductionsstrom mehrmals reizend wirken lasse, so wird er eine sehr viel stärkere Wirkung haben als die einmalige Wirkung eines selbst sehr viel intensiveren, nur einmal applicierten Stromes.

Ich möchte mir nur noch erlauben zu zeigen, dass auch infolge der Einwirkung von Austrocknung durch Bestreuen des Nerven mit Kochsalz der Muskel sich zusammenzieht; es wird aber einige Minuten dauern, bevor der Muskel anfängt darauf zu reagieren, weil eben die Austrocknung des Nerven durch das Kochsalzpulver eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Dann aber werden Sie sehen, wie der Muskel in eine Reihe heftiger Zusammenziehungen geräth, welche der allmäligen Einwirkung des Kochsalzes auf die einzelnen Nervenfasern entsprechen.

Ein letzter Versuch, den ich dann zeigen möchte, rührt von Du Bois-Reymond her, und zeigt eine sehr eigenthümliche und frappierende Gestalt.

Man hat unter anderem mittelst Flammenbildern und anderer Methoden die Gestalt der Wellen herausgebracht, welche den einzelnen Vokalen der menschlichen Stimme entsprechen.

Das *u* z. B. hat solche Wellen (zeichnet), dem *i* kommen allerdings mehr einfache, weniger zackige Wellen zu. Genau in derselben Weise, in welcher sich die Lufttheilchen bewegen, bewegt sich beim Sprechen gegen ein Telephon die Platte von Eisenblech, welche sich vor dem Magnetpole befindet, und genau in derselben Weise, wie sich dieses Eisenblech dem Magneten nähert oder von ihm entfernt, finden die elektrischen Schwankungen statt in den Drahtwindungen, die um den Magneten herumgewickelt sind.

Es werden also die Schwankungen der elektrischen Zustände in der Drahtrolle im Telephon ein genaues Abbild sein der Schwankungen von Verdichtungen und Verdünnungen, welche bei der Erzeugung des Schalles in der Luft hervorgebracht werden. Wenn man nun die beiden Drähte, welche von der Drahtrolle aus dem Telephon herauskommen, durch einen lebenden Nerven überbrückt, der mit dem Muskel zusammenhängt, und man spricht in das Telephon gewisse Vokale hinein, so wird wegen der Raschheit der Schwankungen der elektrischen Intensität im Nerven der Nerv erregt. Es ist nämlich ein Gesetz der Nervenphysiologie, dass man selbst sehr starke Ströme in einen Nerven hineinbringen kann, sozusagen einschleichen kann, wenn man irgend ein Mittel wählt, die Stärke des Stromes im Nerven allmälig ansteigen zu lassen, dass man auf diese Weise selbst sehr starke Ströme in den Nerven einschleichen kann, ohne dass sie eine Erregung im Nerven wirklich ausüben, dass hingegen selbst kaum merkliche, äusserst schwache Ströme, wenn sie nur mit hinreichend grosser Geschwindigkeit in dem Nerven zustande kommen oder aus ihm wieder entzogen werden, eine Erregung des Nerven zur Folge haben.

Wenn man nun in ein solches Telephon, dessen beide Drähte von einem lebenden Nerven überbrückt sind, der mit einem Muskel in Zusammenhang ist, z. B. das Wort: „Zuck“ hineinruft, dann zuckt der Muskel, ruft man aber: „Lieg“ hinein, dann rührt sich der Muskel nicht.

Ich werde nun den Apparat hier zeigen. Es ist dies ein etwas anders gestaltetes Telephon wie das Bell'sche. (Redner ruft ins Telephon:) „Zuck!“ (Der Muskel zieht sich zusammen.) „Lieg, lieg, lieg!“ (Der Muskel bleibt ruhig liegen. — Heiterkeit.) „Du bist ein prächtiger Kerl, zuck! Lieg, lieg, (schreiend) lieg!“ (Der Muskel rührt sich nicht. — Heiterkeit.)

Dies erscheint sehr wunderbar, beruht aber auf sehr einfachen und leichtverständlichen Beziehungen. Davon ein andermal!

III.

Physikalisches.

Das Spectro-Polarimeter.[1])

(Aus „Medizinische Jahrbücher der k. k. Gesellschaft der Aerzte in Wien". 1885.)

(Mit 2 Figuren.)

Mit dem Namen Spectro-Polarimeter bezeichne ich ein Instrument, welches ich kürzlich construirt habe, und zwar zunächst im Hinblick auf die Erfordernisse eines ganz bestimmten, practischen Gebrauches, welches sich aber eben beim Gebrauche so bewährt hat, dass eine kurze Beschreibung der neuen Construction wohl gerechtfertigt sein dürfte.

Das Spectro-Polarimeter gehört zu der grossen Zahl von Instrumenten, welche bestimmt sind, die Drehung zu messen, welche die Polarisationsebene des Lichtes bei seinem Durchgange durch eine Schichte einer optisch-activen Flüssigkeit erfährt; — zu dem Zwecke, um aus dem gemessenen Drehungswinkel, bei bekannter Dicke der durchstrahlten Schichte, und bei bekanntem specifischem Drehungsvermögen der gelösten activen Substanz, auf den relativen Gehalt, oder die Concentration der Lösung bezüglich dieser Substanz zu schliessen. Der angedeutete specielle Zweck war der, der Bestimmung der in normalem oder pathologisch verändertem Harne vorhandenen Quantität von Harnzucker, einer Substanz, welche bekanntlich in Beziehung auf optische Activität mit dem gewöhnlichen, rechtsdrehenden Traubenzucker völlig übereinstimmt.

Da nun die practischen Aerzte, als welchen ja fast ausschliesslich die Durchführung solcher Bestimmungen zur Aufgabe wird, nur in den seltensten Fällen über die Gelegenheit zur Anwendung monochromatischen Lichtes verfügen, so war die Wahl von vornherein auf solche Methoden beschränkt, welche die Anwendung weissen Lichtes voraussetzen. Nun wird aber das Zustandekommen, nicht nur der eigentlichen Teinte sensible, sondern auch der, wegen

---

[1]) Aus Exner's Repertorium der Physik. Bd. XXI.

ihrer grossen Empfindlichkeit meistens angewendeten „empfindlichen Farbe“ des Soleil-Ventzke-Scheibler'schen vortrefflichen Apparates im störendsten Grade durch die eigene Farbe des Harnes beeinträchtigt — ein Uebelstand, an dem auch durch den sogenannten „Farbenwechsel“ nicht viel gebessert wird, und dem die Entfärbung des Harnes durch Thierkohle zwar scheinbar abhilft, aber doch nur durch Einführung anderer, noch viel bedenklicherer Fehlerquellen.

Auch kann kaum bestritten werden, dass, abgesehen von den angedeuteten, sehr erheblichen Uebelständen, ganz allgemein unter allen Urtheilen über Sinneseindrücke, welche zum Einstellen von optischen Apparaten verwendet werden, keines schwankender, keines ungenauer und unsicherer ist, und keines den Beobachter in einem peinlicheren Zweifel lässt darüber, ob er auch wirklich richtig eingestellt habe, als gerade das Urtheil über Gleichheit oder minimale Verschiedenheit der Färbung zweier aneinander stossender, farbiger Felder. —

Allen diesen Schwierigkeiten und Bedenken trachte ich nun abzuhelfen, durch die Anpassung der bekannten Broch'schen Methode an die besonderen Umstände saccharimetrischer Apparate; d. h. ich zerlege die beiden farbigen Lichtbündel, welche nach dem Durchtritte gewöhnlichen weissen Lichtes durch einen Polariseur, eine Quarzdoppelplatte, und einen Analyseur vorhanden sind, mittels eines geradsichtigen Spectroskopes in zwei, dicht aneinander stossende Spectra, deren jedes an Stelle des Lichtes, dessen Schwingungsebene so gedreht wurde, dass sie auf der des Analyseurs senkrecht steht, einen dunklen Streifen zeigt. Sind die Hauptschnitte des Polariseurs und des Analyseurs parallel oder normal zueinander, und hat das Licht zwischen ihnen, ausser dem von der Quarzdoppelplatte herrührenden, keinen anderen Einfluss erlitten, so stehen die beiden dunklen Streifen in den analysirenden Spectren natürlich so, dass der eine die directe Fortsetzung des anderen bildet.[1]) Jeder Einfluss einer activen Substanz aber, welcher beide Lichtbündel in gleicher Weise, vor oder nach dem Durchtritte durch die Doppelplatte, aber zwischen beiden Nicols betrifft, stört die Symmetrie und bedingt, dass sich der Streifen in dem einen Spectrum nach dem rothen, in dem anderen nach dem violetten Ende, parallel mit sich selbst verschiebt[2]); freilich nicht um gleiche Wege,

---

[1]) Siehe unten auf Seite 432, Fig. 1.

[2]) Siehe ebenda, Fig. 2.

sondern um Wege, welche gleich wären, wenn einerseits die Refractionsdispersion, anderseits die beiden Rotationsdispersionen, im Quarz und in der Flüssigkeit, jede für sich, dem Gesetze der directen Proportion mit der Wellenlänge folgen würden. Da es sich aber gar nicht um die Messung dieser Verschiebungen handelt, so ist die erwähnte Complication ganz bedeutungslos. Es wird an dem Spectro-Polarimeter eben darauf eingestellt, dass die beiden Streifen einen einzigen, gradlinigen Streifen von doppelter Länge bilden. Ob dies der Fall ist oder nicht, darüber haben wir erfahrungsgemäss ein sehr sicheres und verlässliches Urtheil. Der Analyseur ist an meinem Apparate um seine Achse drehbar; und wenn man, mit dem Auge am Spectral-Ocular, die Orientirung des Hauptschnittes des Analyseurs so lange durch Drehen verändert hat, bis man im Spectrum die beiden schwarzen Streifen der Richtung nach zusammenfallen sieht, dann hat man eben diese Ebene des Analyseurs so gerichtet, dass sie Symmetrie-Ebene ist für das, durch die activen Substanzen getretene Licht, bezüglich der Schwingungsrichtungen des gleichfarbigen Lichtes in beiden Hälften des Gesichtsfeldes. Die Angabe, die mein Apparat macht, bezieht sich auf eine bestimmte Wellenlänge, ist somit theoretisch fassbar und eindeutig; Licht von jeder Wellenlänge kann durch Quarz um ebensoviele Grade gedreht werden in seiner Schwingungsrichtung, wie es durch eine andere optisch-active Substanz gedreht wurde. Es ist aber nicht denkbar, dass gleichzeitig mit dem Zutreffen dieser Bedingung für eine gewisse Wellenlänge, dieselbe Bedingung auch noch für eine andere, geschweige denn für alle anderen Wellenlängen des Lichtes erfüllt sei. Dieser Umstand (welcher bei der Brechung sein Analogon in der „secundären Chromasie“ hat) bedingt einen principiellen Fehler aller Polarimeter, die mit weissem Lichte arbeiten, und die nicht auf irgend eine Weise ihre Einstellungsreaction, und somit auch ihre Angabe, in Beziehung zu einer einzelnen Wellenlänge setzen. Denn es ist vollkommen unmöglich, einen Zustand, wie ihn in weissem, polarisirtem Lichte eine bestimmte Zuckerlösung hergestellt hat, durch irgend eine Dicke einer Quarzplatte identisch herzustellen oder zu annulliren (compensiren); während es natürlich keine Schwierigkeit bietet, dieselbe Aenderung der Schwingungsrichtung von Licht von einer gegebenen Wellenlänge, einmal durch die eine, ein anderesmal durch jede beliebige andere optisch-active Substanz herbeizuführen.

Wegen dieses Umstandes hat also die Construction des Spectro-Polarimeters sogar einen theoretischen Vorzug vor der des Soleil-

Ventzke'schen und aller übrigen, mit weissem Lichte arbeitenden Apparate; und zwar ist dieser Vorzug deshalb erwähnenswerth, weil die Unterschiede in der Rotationsdispersion von Quarz und Zuckerlösung immerhin so erheblich sind, dass diese theoretische Unvollkommenheit der anderen Apparate zur Quelle merklicher Fehler wird, wenn der Betrag der durch Quarz zu compensirenden Drehung nicht unter einer recht niederen Grenze bleibt.

Ein anderer Vorzug meiner Construction liegt in der freien Verfügung über den Ort im Spectrum, an welchem die schwarzen Streifen von vornherein liegen; und in der Leichtigkeit, die getroffene Wahl durch die Berechnung der Dicke der Quarzplatte zu verwirklichen. Es ist wohl nicht nöthig, die Erwägungen allgemeiner Natur, die bei dieser Wahl im Auge zu behalten sind, hier näher zu discutiren. Der practisch wichtige Vortheil, welcher in der freien Verfügung über den Ort des Streifens im Spectrum liegt, beruht aber darauf, dass man, für bestimmte practische Zwecke, bestimmten Stellen des Spectrums mit dem Streifen ausweichen kann. In unserem Falle, bei der Untersuchung von Harn, dessen Farbstoffe vorzüglich den blauen und violetten Theil des Spectrums absorbiren, musste der Streifen also von dieser Gegend entfernt werden. Aus der Berücksichtigung dieses, und der übrigen Umstände, die auf die Entscheidung über den Ort des Streifens von Einfluss sind, ergab sich eine Dicke der Quarzdoppelplatte von 7·8—7·95 Mm. als die zweckmässigste.

Ich lasse nun hier eine kurze Beschreibung des Spectro-Polarimeters folgen, welche bei der Einfachheit der ganzen Vorrichtung wohl auch ohne Abbildungen verständlich sein wird.

Der Apparat ist, wie üblich, längs einer horizontalen Schiene disponirt, die in ihrer Mitte auf einer Säule befestigt ist. Diese verticale Säule besteht aus einem drehrunden, fingerdicken Eisenstab, welcher aus einem Metallrohr mehr oder weniger weit herausgehoben, und in beliebiger Höhe durch Anziehen einer Klemmschraube festgehalten werden kann. Das äussere Rohr wird von einem kleinen dreibeinigen Stativ getragen.

An einem Ende der horizontalen Schiene ist nun eine Messinghülse in der Weise befestigt, dass sie ganz über der Schiene liegt, ihr parallel ist, und (zur leichteren Annäherung an die Lichtquelle) mit ihrem äusseren Ende über das Ende der Schiene etwas hervorragt. In dieser Hülse, die vorne, gegen die Lichtquelle zu, eine mässig enge Metallpupille trägt, liegt hinter einer Linse der als Polariseur dienende Nicol; in einer Entfernung von wenigen

Millimetern folgt dann die Doppelplatte aus rechts- und linksdrehendem Quarz, in einer Dicke von 7·85 Mm., und mit der Trennungsfläche der beiden Hälften horizontal gelagert, so dass das cylindrische Lichtbündel nicht, wie gewöhnlich, in eine rechte und eine linke, sondern in eine obere und eine untere Hälfte zerfällt. Möglichst nahe vor der, dem Beobachter zugewandten Fläche der Quarzplatte ist eine bewegliche Spaltvorrichtung angebracht. Der Abstand der Ebene, in der die Ränder der Spalte liegen, von der Quarzplatte muss so gering sein, dass das Beobachtungs-Fernrohr gleichzeitig auf die Trennungslinie der Quarzhälften, und auf die Spalte eingestellt ist.

Die Spalte, von der hier die Rede war, ist natürlich die Spalte des Spectral-Apparates. Sie steht senkrecht zur Trennungslinie der Quarzhälften, in unserem Falle also vertical, und es genügt vollständig, wenn der eine Rand der Spalte beweglich ist. Die eine von den beiden dünnen Metallplatten, welche den Spalt zwischen sich lassen, ist also durch eine, seitlich herausgeführte Schraube mitränderirtem Kopf beweglich, so dass ihr grader, scharfer Rand sich parallel mit sich selbst verschiebt. — Nun folgt die übliche Vorrichtung zur Aufnahme des Rohres, welches die zu untersuchende Flüssigkeit, zwischen planen Glasplatten eingeschlossen, enthält. Die Länge dieses Rohres im lichten habe ich so berechnet, dass die Kreisgrade der Theilung genau Procenten des Harnzuckergehaltes entsprechen. Im Apparate folgt nun wieder eine Metallhülse, welche den Analyseur enthält. Dieser ist abermals ein Nicol'sches Prisma, welches mit seiner Fassung, und einer daran befestigten Alhidade, die an jedem Ende eine Strichmarke, oder eine Nonius-Theilung trägt, um die Achse des Apparates gedreht werden kann. Die verbreiterten, bogenförmigen Enden der Alhidade schleifen auf einer versilberten, ebenen Kreisringfläche, auf der eine Theilung in ganze Grade aufgetragen ist. Zum Einstellen fasst man die Hülse, die den Analyseur enthält, an einem massiven ränderirten Ringwulst, der ihr aufgelöthet ist. Dicht auf diesen Theil folgt im Apparat das kleine Galilei'sche Fernrohr, zum Einstellen auf den Spalt. Dasselbe wird von einem eigenen, kurzen Säulchen getragen, das aus der Schiene nach oben hervorkommt; und besteht aus einer äusseren Hülse für das Objectiv, und aus einer inneren, in ersterer verschiebbaren Hülse für das Ocular. Die äussere Hülse ist fest mit dem Säulchen verbunden, und ragt mit dem Objectiv-Ende in die Hülse des Analyseurs hinein, die auf ihr beim Drehen schleift. Das innere Rohr trägt am einen Ende das Ocular, am anderen, dem Auge

näheren, eine central durchbohrte Kreisplatte; und wird durch einen Führungsstift an Drehungen verhindert. Es beherbergt nämlich zwischen der Linse und der Ocularpupille noch einen wesentlichen Bestandtheil. Dieser ist ein, aus drei Prismen zusammengekittetes Spectroskop à vue directe, mit etwas schmälerem Spectrum, als man gewöhnlich bei Taschen-Spectroskopen anwendet. Es hat sich dies als vortheilhaft für die Schärfe der Begrenzung des dunklen Streifens erwiesen. Die brechenden Kanten der Prismen sind natürlich parallel der Spalte, also vertical gestellt. In der Ocularpupille dieses

Fig. 1.

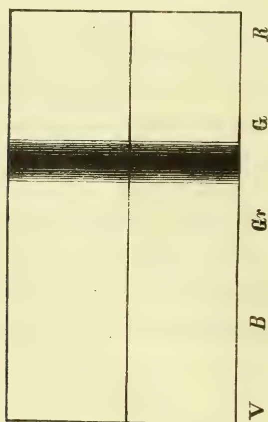
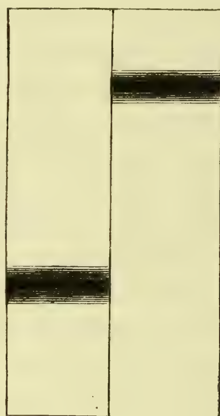
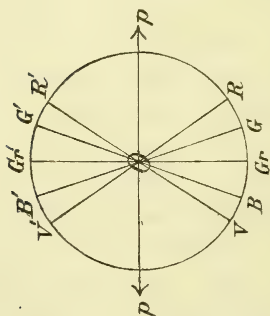
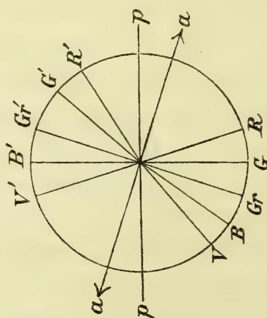


Fig. 2.







Spectroskopes kann man ein, ihre halbe Lichtung (vom violetten Ende her) bedeckendes, mit fehlerlosem, verticalem Rande versehenes, möglichst dünnes Deckgläschen anbringen, um Talbot'sche Streifen im Spectrum hervorzurufen; ob eine solche Schaar zartester, paralleler, dunkler, verticaler Streifen das Urtheil, auf welchem die Einstellung des Apparates beruht, durch ihre Anwesenheit erleichtert und verschärft, oder nicht, will ich dahingestellt sein lassen. Störend wirken

diese Streifen keinesfalls. — Hiermit ist die Beschreibung des Apparates vollendet.

Zum Arbeiten wird er so hergerichtet, dass man ihn gegenüber einer Quelle „weissen“ Lichtes, am besten: einer hellen Petroleum- oder Gasflamme in passender Höhe aufstellt, und nun mit dem leeren, oder mit Wasser gefüllten Rohre den Nullpunkt verificirt. Hierfür wird die Spalte so schmal gemacht, wie es die Bedingungen einer deutlichen und scharfen Beobachtung erlauben. Der Nullpunkt wird gefunden: durch Einstellung der Streifen in den beiden Spectris auf die Lage, welche sie in Fig. 1 haben. In dieser Figur bedeutet der Kreis, mit dem in Pfeilspitzen endigenden Durchmesser: das, den beiden Hälften der Quarzplatte entsprechend, in zwei übereinanderliegende Hälften getheilte Gesichtsfeld. Die Richtung *pp* bedeutet aber zugleich auch: die Schwingungsrichtung des aus dem Polariseur kommenden Lichtes vor dem Eintritt in die Doppelplatte; während die Radien *OR*, *OG*, *OGr*, *OB*, *OV* der Reihe nach die Schwingungsrichtungen des rothen, gelben, grünen, blauen, violetten Lichtes nach dem Austritt aus der rechtsdrehenden, unteren Hälfte der Quarzdoppelplatte bedeuten; und *OR'*, *OG'*, etc. dieselbe Bedeutung für das, durch die obere, linksdrehende Hälfte dieser Platte getretene Licht haben. Die Richtung *pp* in Fig. 1 hat aber noch eine dritte Bedeutung, nämlich die: derjenigen Schwingungen, welche ungeschwächt durch den Analyseur gehen, wenn dieser seine richtige Stellung bei der Verification des Nullpunktes bekommen hat. Die Strahlen, welche in beiden Hälften gegen ihre ursprüngliche Schwingungsrichtung um 90° gedreht wurden, werden nun vom Analyseur ganz ausgelöscht, und da dies Strahlen gleicher Wellenlänge sind, so liegen die ihnen entsprechenden, dunklen Streifen in den analysirenden Spectris an identischen Stellen. Die Stelle des Theilkreises, auf die der Index der Alhidade nun hinweist (wohl gewöhnlich O), wird notirt.

Nun wird das Rohr mit der zu untersuchenden, activen Flüssigkeit angefüllt, und wieder an seine frühere Stelle gebracht. Wenn nun diese Flüssigkeit eine rechtsdrehende war, so werden die aus der unteren, wie die aus der oberen Platte tretenden Strahlen noch eine weitere Aenderung ihrer Schwingungsrichtung erleiden, wodurch aber, da diese Aenderung im Sinne der bereits erlittenen Drehung für die Strahlen in der unteren Hälfte; im entgegengesetzten zu der erlittenen Drehung aber für die in der oberen Hälfte sich vollzieht, die Symmetrie der Drehungswinkel, nach dem Durchtritt des Lichtes durch die active Flüssigkeit, nicht mehr eine, um die Rich-

tung *pp* angeordnete sein wird. Hat also der Analyseur noch die frühere Nullstellung *pp*, so wird er in der unteren Hälfte einen, dem rothen Ende näheren Strahl des Spectrums ganz auslöschen, als früher, und in der oberen Hälfte einen, dem violetten Ende näher liegenden; und die dunklen Streifen in den analysirenden Spectren werden so liegen, wie im oberen Theile der Fig. 2. Um ihnen die frühere Lage (in einer geraden Linie) wiederzugeben, wird man den Analyseur in die Lage *aa* Fig. 2 drehen müssen, d. h. um ebensoviele Grade, als um wieviele die Polarisationsebene desjenigen Lichtes in der untersuchten Lösung gedreht wurde, welches wir zur Grundlage der Messung in unserem Apparate gemacht haben, also jenes Lichtes, welches, vermöge seiner Wellenlänge, in einer Quarzplatte von der Dicke, wie sie im Apparate sich vorfindet, um 90° gedreht wird. Da wir uns für eine Dicke der Quarzplatte entschieden haben, welche bedingt, dass das Licht, für welches die Drehungswinkel gemessen werden, näher am Grün liegt, als sowohl die Natriumlinie, als auch das Complement der Teinte sensible, sowie das der empfindlichen Farbe des Soleil-Ventzke'schen Apparates, so werden wir mit unserem Apparate bei gleichen Längen der Röhren grössere Drehungswinkel messen, als sie mit dem Mitscherlich'schen Apparate, sowohl bei der Anwendung von Natriumlicht, als auch bei Ablesung mittels der Teinte sensible sich ergeben, und auch als sie mit einem Soleil-Ventzke'schen Apparate gefunden werden. Um nun der Unbequemlichkeit einer Reduction der gefundenen Werthe auf die, der Natriumlinie entsprechenden Werthe auszuweichen, wurde der besprochene Umstand durch Verkürzung des Rohres compensirt, und zwar wurde, wie bereits erwähnt ist, eine solche Länge des Rohres berechnet, dass die, am Theilkreise abgelesenen Winkelgrade genau Procenten von Harnzucker entsprechen, unter Zugrundelegung des, für die *D*-Linie ermittelten specifischen Drehungsvermögens dieser Substanz. Selbstverständlich ist, dass für jede Abweichung der Quarzdoppelplatte von der Dicke, für welche die Rohrlänge berechnet wurde, eine neue Bestimmung dieser letzteren Constanten erforderlich wäre; doch hat die Erfahrung gezeigt, dass die, von mir ein für allemale, auf Grundlage von Originalbestimmungen an Lösungen chemisch reinen Traubenzuckers von bekannter Concentration, ermittelte Röhrenlänge beibehalten werden kann, solange die Abweichungen der Dicke der Quarzplatten von der normalen Dicke nicht grösser sind, als $\pm$ 0·03 Mm. —

Nach der Einführung der, mit Harn oder einer anderen gefärbten Flüssigkeit gefüllten Röhre in den Apparat, wird sich im

allgemeinen eine neue Einstellung der Spaltbreite als nöthig erweisen. Es ist übrigens sehr empfehlenswerth, zu vergleichen, bei welcher Breite der Spalte jedesmal die einzelnen Ablesungen einer Reihe untereinander am genauesten übereinstimmen. Dieses Verfahren setzt allerdings eine grössere Anzahl von einzelnen Ablesungen voraus; doch kann diese Bedingung um so leichter erfüllt werden, als die Ablesung am Spectro-Polarimeter sehr schnell auszuführen ist, und mit keiner merklichen Anstrengung oder Ermüdung des Beobachters einhergeht.

Da nur ein schmaler Streifen der Quarzdoppelplatte in unserem Apparate zur Wirkung gelangt, nämlich der, hinter der Spectroskopspalte gelegene, so kann eine solche Doppelplatte von der üblichen, für das genaue Zuschleifen jedenfalls erforderlichen Grösse, senkrecht zur Trennungslinie in mehrere parallele Streifen von je 2 bis 3 Mm. Breite zerschnitten werden, und mit diesen können ebensoviele Apparate versehen werden, als Streifen gewonnen wurden. —

Die Ausführung meiner Construction habe ich dem hiesigen Mikroskopverfertiger und Präcisionsoptiker Herrn Karl Reichert (Wien, VIII. Bennogasse 26) übertragen, welcher diese Aufgabe mit rühmenswerther Sorgfalt und Geschicklichkeit gelöst hat, wofür ich ihm zu Dank verpflichtet bin. Die Spectro-Polarimeter, welche dermalen aus der genannten Werkstätte hervorgehen, verwirklichen das ihrer Construction zu Grunde liegende Princip in so vollkommener Weise, dass ihre Leistungen in keiner Beziehung hinter den berechtigten Forderungen zurückbleiben. Bei einigermassen sorgfältigem Arbeiten bewegen sich die Fehler der Bestimmungen mit diesen Apparaten innerhalb so enger Grenzen, dass sie die Höhe von $^1/_5{}^0/_0$ nicht erreichen.

Ueber

C. Reichert's vervollkommneten mechanischen Objecttisch.

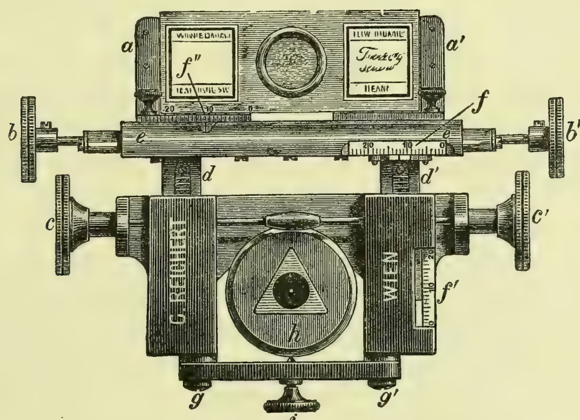
(Aus „Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie und für mikroskopische Technik“. Bd. IV, 1887, pag. 25—30.)

(Mit 1 Figur.)

Die folgende Auseinandersetzung lehnt sich begreiflicher Weise an eine ältere Beschreibung des Gegenstandes an, welcher seither so wesentlichen Verbesserungen unterzogen worden ist, dass deren Schilderung in zusammenhängender Fassung mir wohl der Mühe werth und gerechtfertigt scheint. In jener älteren Besprechung, welche sich im II. Bande (1885) dieser Zeitschrift pag. 289—295 befindet, habe ich das grösste Gewicht auf den Umstand gelegt, welcher mir diese Construction vor allen anderen, gleichen Zwecken dienenden, auszuzeichnen schien, dass die Horizontal-Ebene, in welcher die Verschiebung des Objectes aus freier Hand auf dem einfachen Tische erfolgt, unverändert bleibt bei der Application des mechanischen Tisches, so dass durch letzteren das Object in derselben Entfernung vom Condensator verschoben wird, in welcher es sich bewegte, solange die Hand des Beobachters es auf dem einfachen Tische hin- und herschob. Dieser wichtigste Vortheil des zuerst von Herrn Reichert angewandten Prinzipes der Führung ist natürlich in der neuen Form des Tisches beibehalten worden. Auch in der Verschiebung des Objectes in querer Richtung (von rechts nach links) ist keine nennenswerthe Aenderung angebracht worden; sie findet durch die Drehung des einen oder des anderen der beiden, auf derselben Axe befestigten Schraubenköpfe $b\,b'$, statt.

Ebenso ist die Art der Verbindung des Objectglases mit dem beweglichen Tische dieselbe geblieben — sie wird dadurch hergestellt, dass die beiden Arme $a\,a'$, welche in Querschlitzen am vorderen Rande des Tisches vermittels zweier kleiner, in der Figur kenntlich gemachter, aber nicht bezeichneter Knöpfe hin- und her-

geführt werden können, mit ihren inneren Rändern den Objectträger an dessen schmalen Seiten berühren und fest zwischen sich fassen. Für die Sicherheit dieser Fixirung ist es von Belang, dass die Ränder der Glasplatte nicht von dem Metall der Arme direct, sondern durch Vermittlung von Kautschukleistchen berührt werden, die den Innenrand je eines Armes um etwa ein halbes Millimeter überragen, und in einer Weise mit letzteren in feste Verbindung gebracht sind, welche in der früheren Beschreibung bereits genau angegeben ist (l. c. 290).



Einem wesentlichen Unterschiede von der älteren Construction begegnen wir nun bei der Einrichtung der Längsführung. Diese wurde im alten Modell durch die coulissenartig zugearbeiteten beiden Seitenränder des festen Tisches und durch eine Triebstange vermittelt, welche sich nach hinten erstreckte, und durch eine von vorn nach rückwärts die Säule des Mikroskopes durchsetzende Bohrung durchtrat, um dann den Zähnen des Triebes zu begegnen. Diesem Systeme liess sich vorwerfen, dass es die Application des mechanischen Tisches an ein Mikroskop abhängig machte von einer nicht unbedeutenden Zuarbeitung des ganzen Statives für diesen Zweck, und dadurch eben die Anwendung des Tisches sehr beschränkte. Die Ränder der Tischplatte unserer Mikroskope sind ferner keineswegs von vornherein so genau parallel gerichtet, dass sie ohne weiteres als Führungskanten dienen könnten — und nachdem sie nachträglich in die correcte Richtung gebracht, und zugeschärft worden waren, befanden sie sich fortwährend, solange der aufgesetzte Tisch selbst sie nicht schützte also z. B. beim Einpacken des Instrumentes in seine Cassette, in grosser Gefahr, unter dem Einfluss jeder unsanften Berührung

Scharten, Abstumpfungen u. dgl. zu bekommen — sehr zum Nachtheile der glatten und präcisen Führung. Die jetzige Construction bedingt keinerlei Vorbereitung des Statives behufs der Anbringung des mechanischen Tisches, so dass dieser ohne weiteres jedem grossen oder mittleren Mikroskope continentalen Ursprunges applicirt werden kann — auf eine später zu schildernde Weise. Es ist dies einer der Haupt-Vortheile, welche die neue Construction vor der älteren voraus hat.

Die Längsführung und -Bewegung vollzieht sich am neuen Modell innerhalb zweier, zum mechanischen Tisch selbst gehöriger, longitudinal gestellter Metallkörper, die in eben dieser Richtung von zwei Triebstangen *dd'* durchsetzt werden. Die beiden Klötze werden von einer transversal gerichteten Welle durchbohrt, die an ihren Enden die Handscheiben *cc'* trägt, und ausserdem an jenen Stellen, die im Innern der Metallkörper liegen, mit Triebzähnen besetzt ist, welche in die Zahnlücken der beiden longitudinalen Triebstangen eingreifen. Um wie vieles diese Führung sicherer und dauerhafter ist, als die alte, braucht dem Sachkundigen nicht gesagt zu werden. Im Zusammenhang mit der Einführung dieser neuen, wesentlich verbesserten Bewegung des Tisches in der Längsrichtung steht die Umtauschung der älteren, nicht ganz vorwurfsfreien Befestigung des mechanischen Tisches am Mikroskop, gegen eine neue, sofort zu beschreibende, die von allen jenen Bedenken frei ist, welche man der älteren gegenüber erheben konnte.

Wie an der beigegebenen Figur leicht zu erkennen ist, stehen die beiden parallelepipedischen Metallklötze, von denen soeben bei der Beschreibung der Längsführung die Rede gewesen ist, durch eine breite Metallplatte mit einander in Verbindung; auf diese Platte sind die genannten Klötze von oben aufgeschraubt, ausserdem trägt dieselbe Platte an ihren lateralen Enden je eine nach aufwärts gerichtete, kleine Platte, in der sich die Lager der Transversalwelle *cc'* befinden. Der vordere Rand der, die beiden Klötze verbindenden Platte ist geradlinig gestaltet, der hintere Rand aber hat nur in seiner mittelsten Abtheilung eine geradlinige Begrenzung, beiderseits von derselben ist er, wie die Zeichnung erkennen lässt, in solcher Weise ausgeschweift, dass er sich an den vorderen Theil der cylindrisch gestalteten Säule des Mikroskop-Statives anschmiegt. Die hinteren Enden der beiden, mehrfach erwähnten Metallklötze sind durch einen messingenen Querstab *gg'* mit einander verbunden, welcher am einen Ende bei *g'* von der gleichnamigen Schraube durchbohrt, und um dieselbe drehbar ist. Das andere Ende dieses Querstabes ist von unten her eingeschnitten, so, dass beim Herunter-

drehen desselben der Einschnitt den Schaft der Schraube *g* in sich aufnimmt und dadurch die Bewegung des Querarmes begrenzt. Nun denke man sich den Querarm zunächst um die Axe *g'* um einen rechten Winkel nach oben gedreht und nun den ganzen mechanischen Tisch über den fixen Tisch so von vorne über die Säule des Statives übergeschoben, dass diese in den Ausschnitt zu liegen kommt, der von beiden Seiten durch die beiden Metallklötze, von vorn durch das dieselben verbindende, fixe Querstück begrenzt ist. Hierbei wird sich die Säule mit ihrem vorderen Theil in den Ausschnitt des hinteren Randes jener fixen Querplatte hineinlegen. Nun wird das hintere, bewegliche Querstück um die Axe *g'* um 90° nach abwärts gedreht, so lange bis der Schaft von *g* am Boden des Ausschnittes, nahe am freien Ende des unteren Randes dieses beweglichen Querstückes, anstösst und dadurch die Weiterbewegung dieses Stückes hemmt. In dieser Stellung sind die Theile in der beigegebenen Figur abgebildet, in welcher man leicht den Querschnitt der Säule *h* und des darin befindlichen Prismas des Statives erkennen wird

Nun wird eine Schraube vorgeschraubt, die den beweglichen Querarm in dessen Mitte von hinten nach vorn durchbohrt (*i*). Beim Anziehen dieser Schraube legt sich deren stählerne, conisch geformte Spitze in ein, ihrer Gestalt entsprechendes Grübchen am hinteren Rande der Säule, welches nicht vom Mechaniker vorgebohrt zu sein braucht, sondern nach mehrmaliger Verwendung der Fixirungsschraube von dieser letzteren selbst in ganz ausreichender Tiefe hervorgebracht ist; durch die Gestalt, welche der hinteren Begrenzung der, beim Anziehen der Schraube gegen die vordere Hälfte der Säule gepressten Querplatte gegeben ist, wird dafür gesorgt, dass ausser der Schraubenspitze noch zwei Punkte des, den untersten Theil der Säule umspannenden Rahmens gegen die Säule gepresst werden — und nicht etwa nur noch einer, wie es bei geradliniger Gestalt dieses Randes, und somit streng viereckiger Form des ganzen Rahmens der Fall wäre. Durch die Festlegung dreier Punkte ist aber eine wirklich vollkommene Befestigung des mechanischen Tisches am Stativ erzielt.

Da der Querfalz am vorderen Rande des Stückes *ee*, in welchem die Führung der Arme *a a'* sich vollzieht, mehrere Millimeter über der unteren Begrenzungsfläche dieses Stückes angebracht ist, war es möglich, das Stück *e e* selbst nur mit den hinteren, der Säule zugekehrten Antheilen seiner Unterfläche auf dem fixen Tisch schleifen zu lassen, nach vorn zu aber so viel von seinem Körper wegzunehmen, dass zwischen ihm und der Oberfläche des festen Tisches

ein nach vorn offener, mehrere Millimeter hoher, und etwa ein Centimeter tiefer Raum entstand. Dieser Raum, in welchem wie begreiflich der dem Beobachter zunächst liegende, centimeterbreite Randstreif eines Objectträgers untergebracht werden kann, wenn seine beiden kurzen Ränder von den Armen *a a'* gefasst sind, ist von nicht unerheblicher Bedeutung für die vollständige Ausnutzung der Bewegungen, die durch die Handscheiben *b b* und *c c'* hervorgebracht werden können, und deren gesammter Betrag am einfachsten und zweckmässigsten ausgedrückt wird als Flächeninhalt oder Seitenproduct des Rechteckes, welches irgend ein Punkt des Stückes *e e* oder eines mit diesem Stücke fest verbundenen Körpers zu umschreiben vermag, wenn er eben an den Grenzen seiner Beweglichkeit hingeführt wird. Selbstverständlicher Weise sind alle diese Rechtecke untereinander ganz gleich. Aber nur diejenigen von ihnen kommen mit ihrer ganzen Oberfläche als dem Maass der nutzbaren Beweglichkeit des sie erzeugenden Punktes in Rechnung, welche der Forderung genügen, dass durch die Bewegungen, welche ihnen zukommen, jeder innerhalb ihrer Fläche liegende Punkt in die optische Axe des Mikroskopes verlegt werden könne. Denkt man sich alle Theile des mechanischen Tisches in möglichste Symmetrie zu einander gebracht, also in jene Lage ungefähr, in der die Figur sie darstellt — dann wird ein symmetrisch zwischen den Armen *a a'* liegender Punkt des Objektes eben in der optischen Axe liegen. Dieser Punkt ist der Mittelpunkt eines Rechteckes, dessen Begrenzung eben durch die äussersten Punkte gebildet wird, die in die optische Axe geschoben werden können. Es ist also eines von jenen Rechtecken, für die die oben erwähnte Bedingung erfüllt ist, und ist also mit seiner Fläche ein Maass für die nutzbare Beweglichkeit seines Mittelpunktes. Bei dieser Lage der beiden Arme *a a'*, und der zwischen ihnen befindlichen Platte ist der erwähnte Punkt der einzige, dessen ausnützbare Beweglichkeit seiner absoluten Beweglichkeit gleichkommt, und folglich durch die ganze Fläche des Rechteckes gemessen wird. Jeder andere Punkt hat zwar genau dieselbe absolute Beweglichkeit, der Antheil davon, der ausnutzbar ist, wird aber nur durch den Antheil des ihm zugehörigen Rechteckes gemessen, der mit Theilen des früher besprochenen, symmetrisch gelegenen Rechteckes zusammenfällt. Folglich wird ein Präparat von der Grösse und Gestalt jenes, die gemeinsame, absolute Beweglichkeit messenden Rechteckes nur dann mittels der Verschiebungen, die ihm unser Tisch ertheilt, mit allen seinen Punkten in die optische Axe gerückt und somit nach und nach vollständig

betrachtet werden können, wenn es die specielle, oben erwähnte symmetrische Lage besitzt. Die ganze Vorrichtung wird also um so nützlicher und vollkommener sein, je weiter die Grenzen sind für die Anfangslage, die einem Präparate im mechanischen Tisch gegeben werden kann. Diese Grenzen werden nun einerseits durch die sehr weitgehende seitliche Verschiebbarkeit der Arme *a a'*, anderseits durch die grosse Veränderbarkeit der Anfangsstellung des Objectträgers in der longitudinalen Richtung sehr breit, und für ihre Verbreiterung in letzterer Richtung ist durch die Aushöhlung jenes Raumes an der Unterfläche des beweglichen Tisches abermals etwa ein Centimeter gewonnen.

Was nun die Vorrichtungen zum Wiederfinden einer bestimmten Stelle des Präparates anlangt, so wird man billiger Weise die Ansprüche an einen Apparat, der selbst nicht in bleibender Verbindung mit dem Stativ steht, sondern vielmehr diesem mittels weniger, einfacher Handgriffe angefügt und wieder abgenommen werden kann, nicht so weit treiben, eine sehr exacte Einstellung nach den früheren Scalenwerthen auch dann zu fordern, wenn inzwischen das Präparat nicht blos verschoben, sondern auch aus seiner Verbindung mit dem Tisch glöst worden ist. War das Präparat bloss mittels der Führungen des Tisches verschoben, dann wird eine Wiederherstellung der ersten Ablesungen an den Scalen *f* und *f'* auch den früher centrirten Punkt wieder in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen; war aber das Präparat inzwischen vom Tische entfernt worden, dann muss auch noch seine relative Lage gegen den Tisch restituirt werden, was durch die Scala *f''*, welche die Stellung des einen der beiden Arme *a* angiebt, ermöglicht wird, aber natürlich nur in ziemlich stumpfer Annäherung. Schon aus dem Grunde kann das nicht anders erwartet werden, weil ja in diesem Falle nicht nur die gegeneinander beweglichen Theile des Tisches genau wieder in ihre frühere Lage gebracht werden müssen, sondern auch das Objectglas auf dem sich das Präparat befindet, wieder genau in die frühere Lage gegen die Theile des Tisches, welche es direct berühren, versetzt werden muss. Da übrigens das Wiederfinden bestimmter Stellen eines Präparates gar nicht die eigentliche Aufgabe, der unmittelbare Zweck eines mechanischen Objecttisches ist, lohnt es nicht die Mühe, noch länger bei dieser Erörterung zu verweilen. Ich bin vielmehr mit der Beschreibung dieses ebenso solid wie zweckmässig construirten Ergänzungs-Apparates zum Mikroskop, den Herr Reichert für den Preis von 35 fl. ö. W. = 56 Mk. liefert, hiermit zu Ende.

Wien, April 1887.

Ueber die zweckmässigste Herstellung monochromatischen Lichtes.

(Aus den Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge. Band XXXVIII. 1889.)

Im strengsten Sinne des Wortes ist bekanntlich auch das von glühendem Natriumdampf ausstrahlende Licht nicht monochromatisch — doch ist es meines Wissens eine unter den Physikern heutzutage ganz allgemein herrschende Meinung, dass die einfachste Methode, sich helles, einfarbiges Licht zu verschaffen, darin bestehe, Chlornatrium in einer Platinöse oder in einem Körbchen aus Platindrahtnetz am Rande einer Bunsen'chen Flamme zu verdampfen. Ich bediene mich schon seit einigen Jahren einer anderen Methode, mir Natriumlicht zu verschaffen, welche vor der eben erwähnten zwei wesentliche Vorzüge hat. Ich verwende nämlich statt des Chlornatriums Bromnatrium. Die Vorzüge dieses Verfahrens scheinen mir darin zu liegen, dass erstens das beim ersten Schmelzen des Chlornatriums so lästige Decrepitiren völlig ausbleibt, wenn man die Bromverbindung anwendet, und dass zweitens die Helligkeit des beim Verdampfen einer Bromnatriumperle entstehenden Lichtes ganz erheblich grösser ist, als die, welche eine Chlornatriumperle zu liefern vermag. Bei richtiger Stellung der Bromsalzperle in der Flamme des Bunsen'schen Brenners ist das Licht so blendend hell, dass es vom Auge kaum ertragen wird. Einige Vergleichungen der Helligkeiten der beiden in Rede stehenden Natriumlichter, welche ich mittels eines Bunsen'schen Photometers angestellt habe, ergaben das Resultat, dass das von der Bromverbindung herrührende Licht beiläufig neunmal so hell ist, wie das, welches das Chlorsalz erzeugt — doch möchte ich dieser Zahl durchaus nicht die Bedeutung eines wirklichen Messungsergebnisses beilegen, und zwar aus dem Grunde nicht, weil es mir weder möglich scheint, mit Sicherheit beide Perlen auf eine und dieselbe Temperatur zu bringen, noch auch

möglich scheint, gleichzeitig für jede der beiden Lichtquellen das Maximum der durch sie erreichbaren Helligkeit herzustellen. Soviel aber glaube ich behaupten zu dürfen, dass niemand, der einmal einen Versuch mit Bromnatriumlicht angestellt hat, einen Zweifel daran überbehalten wird, dass dieses Licht dem Chlornatriumlicht an Bequemlichkeit und Helligkeit weitaus überlegen ist.

Wien, Physiol. Inst., October 1889.

Die doppelte Brechung des Lichtes in Flüssigkeiten.

(Aus dem XC. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. II. Abth. October-Heft. Jahrgang 1884.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 9. October 1884.)

(Mit 1 Holzschnitt.)

Den genialen Untersuchungen Fresnel's über die circumpolarisirenden Eigenschaften des Bergkrystalles verdankt die Wissenschaft ein erschöpfendes Verständniss der Vorgänge bei der Drehung der Schwingungsebene eines linear polarisirten Lichtstrahles, welcher durch eine Quarzplatte in der Richtung ihrer optischen Axe geht, und die Kenntniss einer besonderen Art der Doppelbrechung. Während bei einer Doppelbrechung, sensu communi, der einfache Strahl in zwei, linear und senkrecht auf einander polarisirte Strahlen, von ungleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit, zerfällt, wie ein Lichtstrahl, welcher auf eine normal zur Axe geschnittene Quarzplatte in der Richtung der Axe fällt, allerdings auch in zwei, mit verschiedener Geschwindigkeit in der Richtung der Axe sich fortpflanzende Strahlen zerlegt; doch sind die Bahnen, in denen die Aethermoleküle dieser beiden Strahlen schwingen, nicht linear, sondern circular — die Richtung, in der die Kreisbahnen durchschwungen werden, ist in dem einen Strahl entgegengesetzt der Richtung, in welcher die Aethermoleküle des anderen Strahles schwingen. Bei dem Austritte aus der Platte setzen sich die beiden Strahlen wieder zu einem zusammen, welcher linear polarisirt ist, wenn der eintretende Strahl es war. Da aber die Bewegung des Aethers in dem einen Strahle im Quarz mit einer anderen Geschwindigkeit vor sich ging, als die in dem anderen Strahle, so wird eine Phasendifferenz zwischen den beiden Strahlen eintreten, die um so grösser sein wird, je länger der im Quarz zurückgelegte Weg, also je dicker die Quarzplatte ist. Diese Phasendifferenz wird sich für den Fall, dass der eintretende

Strahl linear polarisirt war, in dem ausgetretenen Strahle als Drehung der Polarisationsebene ausdrücken. Durch seine bekannten, sinnreichen Methoden hat Fresnel experimentell nachgewiesen, dass der Quarz in der That auch in der Richtung seiner Axe doppelbrechend ist; und ferner, dass in diesem Falle die beiden Strahlen circular und entgegengesetzt polarisirt sind. Eine Recapitulation der, sich an Fresnel's Entdeckung anschliessenden, berühmten Arbeiten Airy's und vieler Anderer, die sich mit der Untersuchung der Strahlen beschäftigen, welche im Quarz kleine Winkel mit der Axe einschliessen — Arbeiten, die schliesslich zu einer sehr genauen Kenntniss der Gestalt der Lichtwellenoberfläche im Quarz geführt haben — wäre angesichts der hier vorliegenden Aufgabe überflüssig.

Da eine Einwirkung auf die Schwingungsrichtung des Lichtes nicht ausschliesslich an die Anordnung der Materie im Krystall gebunden ist, da vielmehr zahlreichen Lösungen, und zahlreichen bei gewöhnlicher Temperatur an sich flüssigen Substanzen die Eigenschaft zukommt, die Polarisationsebene zu drehen, so liegt es nahe, sich zu fragen, ob die Aenderung der Schwingungsrichtung von Lichtstrahlen, welche „optisch active" Flüssigkeiten durchsetzen, ebenfalls auf einer Phasendifferenz zwischen zwei circular polarisirten Strahlen beruhe, wie bei Krystallen; oder ob die circumpolarisirenden Eigenschaften von Flüssigkeiten auf ganz anderen Vorgängen beruhen — was ja immerhin denkbar wäre, und was so lange nicht als ausgeschlossen betrachtet werden darf, als nicht eine zur Erklärung des Drehungsvermögens hinreichende Doppelbrechung an den optisch activen Flüssigkeiten nachgewiesen ist.

Doppelbrechung ist bis jetzt allerdings nur an Substanzen beobachtet, die in irgend einer Weise eine Axe, eine Orientirung im Raume darbieten, und steht immer zu dieser Orientirung in naher Beziehung; mag sie nun von der Anordnung der Materie in einem Krystall — einem in eminenter Weise im Raume orientirten Gebilde — oder von Compression oder Spannung der festen Materie in einer bestimmten Richtung, durch Druck, einseitige Abkühlung u. dgl. herrühren. Dem entsprechend finden wir auch die Gestalt der Lichtwellenoberfläche in doppelbrechenden Körpern immer an bestimmte Richtungen gebunden; doch kann dies keinen ernstlichen Einwand gegen die Annahme von doppelbrechenden Flüssigkeiten begründen. Denn erstens sehen wir die Eigenschaft der Drehung der Polarisationsebene selbst, in den Krystallen zwar an bestimmte Orientirungen gebunden, in den optisch activen Flüssigkeiten hingegen nach allen Richtungen des Raumes gleich-

mässig vorhanden; — und zweitens scheint mir Alles, was zum Verständnisse irgend einer Erscheinung der Doppelbrechung erheischt wird, dargeboten, sobald die Gestalt der betreffenden Wellenoberfläche gegeben ist. Diese ist nun offenbar für unseren Fall einer von jeder Orientirung unabhängigen Doppelbrechung eindeutig gegeben durch die Doppelfläche, welche eine Kugelschale begrenzt, das heisst: durch zwei concentrische Kugeloberflächen.[1]) Natürlich hat man sich diese nicht zu denken wie die Schallwellenoberflächen zweier, an demselben Punkte in der Luft rasch nach einander überspringender, elektrischer Funken, sondern man hat zu berücksichtigen,

[1]) Sowie diese Annahme erwiesen ist, das heisst: sobald gezeigt ist, dass die Drehung der Polarisationsebene in optisch activen Flüssigkeiten auf Doppelbrechung, auf einer (von ungleicher Geschwindigkeit zweier circular polarisirter Strahlen herrührenden) Phasendifferenz beruht, entfällt von selbst die Schwierigkeit, welche man bisher in der Erklärung des Umstandes gefunden hatte, dass das Drehungsvermögen der Flüssigkeiten von der Richtung, in welcher diese von den Lichtstrahlen durchsetzt werden, unabhängig, für alle Richtungen das Gleiche ist; und die Annahmen, welche man zur Beseitigung dieser Schwierigkeit gemacht hatte — ich erwähne nur zum Beispiel den bekannten Vergleich der Flüssigkeitsmolekeln mit Schrauben, die alle im gleichen Sinne gewunden sind, und die ohne Bevorzugung einer bestimmten Richtung, mit ihren Axen nach allen Richtungen des Raumes gekehrt, diesen erfüllen — diese Annahmen werden überflüssig. Die Vorstellung, welche aus dem Nachweise der Doppelbrechung in Flüssigkeiten mit Nothwendigkeit folgt, dass nämlich jede Störung im Gleichgewichte des Lichtäthers innerhalb einer solchen Flüssigkeit sich zwar nach allen Richtungen des Raumes gleichmässig fortpflanzt, in jeder dieser Richtungen aber mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten, hat, so viel ich sehen kann, an sich nicht die mindeste Schwierigkeit; aus ihr folgt aber unmittelbar und mit Nothwendigkeit, dass eine solche Flüssigkeit die Polarisationsebene eines Lichtstrahles um gleich viel drehen muss, in welcher Richtung immer der Strahl der Flüssigkeit durchsetzt.

Nehmen wir für einen Augenblick an, dass linear polarisirtes Licht schon im isotropen und einfach brechenden*) Mittel, zum Beispiele in der Luft, aus zwei gleichen und entgegengesetzten Hälften circularpolarisirten Lichtes besteht — eine Annahme, der nichts im Wege liegt — und stellen wir uns vor, dass ein Strahl solchen Lichtes in eine optisch active Flüssigkeit eindringt. Die beiden Hälften pflanzen sich — unabhängig von der Richtung, in welcher der Strahl durch die Flüssigkeit geht — in ihr, nicht mehr wie ausserhalb mit der gleichen, sondern, je nach der Natur der Flüssigkeit, die eine oder die andere Hälfte mit einer etwas grösseren Geschwindigkeit fort, als die andere Hälfte. Sobald das Licht wieder

*) „Isotrop“ und „einfach brechend“ sind, sobald die Doppelbrechung in Flüssigkeiten erwiesen ist, nicht mehr einander deckende Begriffe. Ein Mittel, in welchem die Lichtwellenoberfläche die Gestalt zweier concentrischer Kugeloberflächen hat, und in welchem die Doppelbrechung unabhängig von der Richtung im Raume ist, muss man vi nominis „isotrop“ nennen, trotzdem es nicht „einfach brechend“ sondern doppelbrechend ist.

dass die Dicke der Kugelschale ein constanter, aliquoter Theil ihres Radius ist, dass also mit wachsendem Radius auch der Abstand zwischen den beiden Kugelflächen, welche die Wellenoberfläche des Lichtes darstellen, wächst. In Wirklichkeit wird man sich — angesichts des äusserst geringen Betrages der Doppelbrechung, selbst in den am stärksten drehenden bekannten Flüssigkeiten — den Abstand zwischen den beiden concentrischen Kugeloberflächen fast verschwindend vorzustellen haben, im Vergleiche mit dem Halbmesser der Kugelschale. Zu der bekannten Gestalt der Wellenfläche zweiaxiger Krystalle hat diese Wellenfläche keine hier besonders erwähnenswerthe Beziehung; aus der Wellenoberfläche einaxiger Krystalle entsteht sie natürlich durch Gleichsetzung aller drei Axen des ellipsoidischen Theiles derselben.

Nach diesen, sich eigentlich von selbst ergebenden Betrachtungen, konnte es sich überhaupt um nicht Anderes handeln, als um die Wahl einer Methode, welche die Doppelbrechung circumpolarisirender Flüssigkeiten sinnfällig machen musste, falls eine solche wirklich vorhanden war.

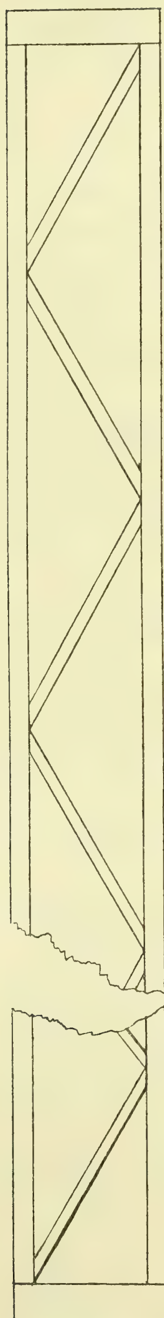
Es ist nicht schwer, den Grad von Doppelbrechung zu berechnen, der einem gegebenenen Drehungsvermögen entspricht. Die Rechnung[1]) ergab mir nun, dass die Doppelbrechung, welche dem Drehungsvermögen, selbst der am stärksten drehenden Flüssigkeiten entspricht, so gering ist, dass die Hoffnung, sie durch irgend eine der bekannten Methoden direct nachzuweisen, von vornherein aufgegeben werden muss; speciell von einer Nachahmung der von Fresnel für den directen Nachweis der Doppelbrechung längs der

---

aus der Flüssigkeit ausgetreten ist, und wieder in Luft oder in Glas fortschreitet, geschieht dies wieder für beide Hälften mit gleicher Geschwindigkeit: die Polarisationsebene des Lichtes ist aber gedreht worden, und zwar um einen Betrag, der nur von der Verzögerung abhängt, welche die eine Hälfte gegen die andere in der Flüssigkeit erlitten hat. Diese Verzögerung, und mit ihr die Drehung der Polarisationsebene ist aber von der Richtung des Strahles in der Flüssigkeit ganz unabhängig. Ich finde weder in dieser Vorstellung, noch in der ihr zu Grunde liegenden Annahme einer zwiefachen Geschwindigkeit der Fortpflanzung von Gleichgewichtsstörungen in dem Lichtäther, eine Schwierigkeit.

Es versteht sich von selbst, dass diese Auseinandersetzung keine Anwendung findet auf jene temporäre optische Activität, welche vom Aufenthalte flüssiger (oder fester) Körper im magnetischen oder elektrischen Felde herrührt.

[1]) Da diese, sowie die übrigen in dieser Arbeit vorkommenden Rechnungen, auf der Anwendung bekannter optischer Formeln, oder doch nur solcher Transformationen derselben beruhen, die ohne Schwierigkeit abzuleiten sind, so habe ich ihre Wiedergabe hier für überflüssig gehalten.



Axe im Quarz gewählten Methode (Fresnel'sches Quarzprisma) war bei Flüssigkeiten durchaus nichts zu erwarten.

Ich construirte also den sofort zu beschreibenden Apparat, und übertrug seine Ausführung der Firma C. A. Steinheil's Söhne in München. Aus drei langen schmalen Glasstreifen wurde eine, an beiden Enden und oben offene Rinne von nahezu quadratischem Querschnitte hergestellt. Dieselbe wurde an den beiden Enden durch planparallele Glasplatten verschlossen, und das Innere der Rinne wurde durch vertical auf deren Boden gestellte, planparallele Glasplatten von gleicher Höhe mit den Wänden der Rinne selbst, und im Zickzack zwischen diesen hin- und herziehend, in eine Reihe von Hohlräumen prismatischer Gestalt abgetheilt.

Die Zwischenwände hatten eine Neigung von 30° gegen die Axe der Rinne, und es waren ihrer 21 vorhanden, so dass, wenn man die beiden senkrecht gegen die Axe der Rinne gestellten Endplatten dazurechnet, durch 23 planparallele Glasplatten die Flanken von 22 Hohlprismen gebildet wurden, von denen 20 einen brechenden Winkel von je 120_0, und 2 einen brechenden Winkel von je 60° hatten. Zehn 120-gradige und ein 60-gradiges Prisma waren mit ihren brechenden Kanten nach der einen Seite, zehn 120-gradige und ein 60-gradiges Prisma nach der entgegengesetzten Seite gewendet. Die Gesammtsumme der brechenden Winkel dieses Systemes von Hohlprismen betrug 2520° oder: sieben ganze Kreisperipherien.

Die genauen Ausmaasse meines Apparates sind:

Ganze Länge	543	Mm
„ Breite	20	„
„ Höhe	19	„
Länge im Lichten	534	„
Breite „ „	15	„
Höhe „ „	15·6	„
Dicke der Zwischenplatten, jede . . .	1·5	„
Länge „ „ „ . . .	30	„

Länge der Prismenbasen im Lichten, jede	48	Mm
Länge der Prismenseiten im Lichten, jede	28	„

Winkel der beiden Endzellen: 30°, **60°**, 90°

Winkel der 20 Binnenzellen: 30°, **120°**, 30°

Brechungsindex des Glases, aus welchem die planparallelen Platten bestehen,

für die Linie *D*: 1·512

„ „ „ *F*: 1·518

Beistehende Figur, welche den Apparat (mit Fortlassung seines mittleren Theiles) von oben gesehen, in natürlichen Dimensionen darstellt, wird wohl keinen Zweifel über die Art seiner Zusammensetzung bestehen lassen.

Um dem Leser eine Vorstellung von der Vorzüglichkeit der optischen Arbeit an diesem Apparate zu geben, will ich anführen, dass man, selbst wenndie Prismen mit Luft erfüllt waren, trotz der 46 Brechungen, von denen 42 unter so grossen Winkeln erfolgten, mit dem Fernrohre längs der Axe durch den ganzen Apparat blickend, die feinsten Miren (zarteste mit Diamant auf Glas gezogene Linien) deutlich, und vollkommen unverzerrt wahrnahm. Da der Erfolg meiner ganzen Untersuchung von der Correctheit der Ausführung dieses Apparates abhing, fühle ich mich verpflichtet, Herrn Dr. Steinheil für die, alle meine Erwartungen weit übertreffende Correctheit, mit welcher er diese schwierige Combination planparalleler Gläser ausführte, hier meine grösste Anerkennung und meinen besten Dank auszusprechen. Auch für die Bestimmung der Brechungsexponenten des zu den planparallelen Platten verwendeten Glases, welche ich oben in der Zusammenstellung der Constanten des Apparates angeführt habe, bin ich Herrn Dr. Steinheil, der für die Bestimmung eigens kleine Prismen aus diesem Glase zu schleifen die Güte hatte, zu Dank verpflichtet.

Der Apparat sollte nun derart angewendet werden, dass sämmtliche Hohlprismen, deren brechende Kanten nach einer Seite gewendet waren, mit einer in bestimmtem Sinne optisch activen (sagen wir: rechtsdrehenden) Flüssigkeit gefüllt wurden, während die nach der anderen Seite gewendeten, zwischen ersteren alternirend liegenden Prismen, mit einer linksdrehenden Flüssigkeit gefüllt wurden. War noch der Bedingung genügt, dass die beiden Flüssigkeiten denselben Brechungsindex haben, so durfte man nach der üblichen Anschauungsweise erwarten, da sämmtliche Brechungen im ganzen Systeme einander genau aufhoben, ein auf der einen Seite durch

die eine Endplatte in der Richtung der Axe der Rinne in den Apparat eintretendes Lichtbündel durch die andere Endplatte, in Allem und Jedem unverändert, wieder austreten zu sehen. Beruhte jedoch die optische Activität der angewandten Flüssigkeiten auf einer, der axialen Doppelbrechung des Quarzes analogen Doppelbrechung, dann war leicht einzusehen, dass, während die einfachen Brechungen einander in den alternirend gestellten Prismen aufhoben, der Betrag der Doppelbrechung von Prisma zu Prisma sich summirte.

Um diesen letzteren Umstand ganz anschaulich zu machen, genügt folgende Ueberlegung. Das Licht tritt im Apparate immer aus Glas in Flüssigkeit und aus Flüssigkeit in Glas. Der Brechungsindex sämmtlicher, zur Verwendung kommender Flüssigkeiten ist kleiner als der des angewandten Glases. Beim Uebertritt aus Glas in Flüssigkeit findet also eine Brechung vom Lothe statt. Hat das Licht, der Annahme entsprechend, zwei Geschwindigkeiten in der Flüssigkeit, so wird der rascher fortschreitende Theil des Lichtes weiter vom Lothe weggebrochen, als der andere. Vermöge der Schwingungsrichtung in diesem schnelleren, und demnach stärker gebrochenen Strahl, sei die in Betracht genommene Flüssigkeit eine rechtsdrehende. Die beiden Strahlen werden divergent durch die Flüssigkeit im Hohlprisma gehen, und beim Austritte aus ihr in das Glas wird, wie bei jeder normalen Brechung in Prismen, diese Divergenz vermehrt werden. Nun kommen die beiden, einstweilen im Glase wieder mit gleicher Geschwindigkeit fortschreitenden, aber entgegengesetzt circular polarisirten Strahlen an das nächste Flüssigkeitsprisma, das mit seiner Kante nach der entgegengesetzten Seite sieht, als das erste. Damit in einem solchen Prisma die bestehende Divergenz der Strahlen nicht vermindert, sondern vergrössert werde, wäre natürlich nothwendig, dass der Strahl, welcher beim Eintritte in die Flüssigkeit im ersten Prisma stärker vom Lothe abgelenkt wurde, jetzt schwächer abgelenkt würde, als der andere Strahl. Dies ist aber in der That der Fall, wenn das entgegengesetzte Drehungsvermögen der zweiten (linksdrehenden) Flüssigkeit auf der grösseren Geschwindigkeit des in jenem Sinne circular polarisirten Strahles beruht, der in der ersten Flüssigkeit der langsamere war, auf welcher Voraussetzung ja unsere ganze Betrachtung beruht.

Man kann also in Kürze sagen: bei der Anordnung in unserem Apparate findet desshalb, einerseits eine Aufhebung der einfachen, anderseits eine Summation der doppelten Brechungen statt, weil auf der einen Seite Flüssigkeiten von gleichem Brechungsindex in Paaren gleich stark aber entgegengesetzt brechender Hohlprismen sich be-

finden; auf der anderen Seite jedoch, bezüglich der Doppelbrechung, mit jedem Wechsel in der Richtung der brechenden Kante der Prismen auch ein Austausch zwischen den beiden Strahlen in der Fähigkeit einhergeht, sich schneller oder langsamer fortzupflanzen, das heisst: stärker oder schwächer gebrochen zu werden.

Unter diesen Umständen, und mit Zuhilfenahme der Vergrösserungen eines, besonders für merklich parallel der Axe einfallende Strahlen sehr vollkommenen (eigentlich für astronomische Zwecke bestimmten) Fernrohres von A. Prazmowski in Paris, durfte ich erwarten, durch den mit optisch activen Flüssigkeiten gefüllten Apparat feine Miren doppelt zu sehen. Ueber die gewählte Anzahl von Prismen, oder über die gewählte Grösse ihrer brechenden Winkel, welche die vorläufige Rechnung als eben hinreichend zur Sichtbarmachung der Doppelbilder[1]) ergeben hatte, wollte ich bei der Construction des Apparates aus Gründen, die hauptsächlich von der Natur der zu verwendenden Flüssigkeiten herstammten, und deren Erwägung sich nachträglich als durchaus nicht überflüssig erwies, nicht hinausgehen.

Die zunächst zur Entscheidung zu bringende Frage war die, die Wahl der beiden Flüssigkeiten, mit denen der Versuch angestellt werden sollte, betreffende. Die ausführliche Breite der nun folgenden Darstellung bitte ich zu entschuldigen — sie entspringt aus der Absicht, bei einer etwaigen Wiederholung der Versuche, dem Experimentator überflüssige Mühe zu ersparen.

Die Idee, concentrirte Lösungen der beiden Weinsäuren zu verwenden, erwies sich bei genauerem Zusehen sofort als unzweckmässig. Ganz abgesehen von der Schwierigkeit, die sich der Gewinnung einer genügenden Menge von Linksweinsäure gegenüberstellte, sprach gegen die Verwendung dieser Substanzen das an und für sich relativ sehr geringe Drehungsvermögen der Weinsäuren.

Viel bessere Hoffnung gewährten die Lösungen von rechtsdrehendem und linksdrehendem Zucker, mit welchen Lösungen denn auch der erste Versuch unternommen wurde. Herr Professor Dr. Ernst Ludwig hatte die grosse Güte, mir für diesen Versuch eine

---

[1]) Dieser Berechnung habe ich die Annahme zu Grunde gelegt, dass zwei helle Punkte auf dunklem Grunde bequem und deutlich getrennt erscheinen, wenn der von ihnen eingeschlossene Gesichtswinkel nicht weniger als 90 Secunden misst — überhaupt erkennbar ist natürlich das Doppelbild als solches auch bei wesentlich kleinerem Gesichtswinkel.

beträchtliche Quantität einer von ihm selbst dargestellten, absolut klaren, sehr concentrirten Lösung von Levulose in Wasser zur Verfügung zu stellen. Diese Lösung war dickflüssig, von tiefgelber Farbe, und hatte einen Brechungsindex von 1·4807 für Licht von der Wellenlänge der *D*-Linie. Als Gegenflüssigkeit sollte eine Lösung von gewöhnlichem, rechtsdrehendem Zucker verwendet werden. Begreiflicherweise wollte ich eine Verdünnung der linksdrehenden Lösung möglichst vermeiden, denn erstens wurde durch eine solche der Betrag der Doppelbrechung vermindert, und zweitens wurde der Brechungsindex herabgesetzt; während doch in der Annäherung dieses Werthes an den entsprechenden des Glases (1·512) ein Vortheil lag, von dem ich nur ungern etwas, und jedenfalls nicht mehr, als nothwendig war, verlieren wollte. Da es aber nicht gelang, eine Lösung des rechtsdrehenden Zuckers von höherem Brechungsindex als 1·473 herzustellen, so musste ich mich entschliessen, der linksdrehenden Lösung soviel Wasser zuzusetzen, bis sie ebenfalls einen Brechungsindex $n_D = 1{\cdot}473$ hatte.

Nun haben Zuckerlösungen bekanntlich eine sehr grosse Neigung zur Bildung von Schlieren, und diese Neigung ist um so grösser, je concentrirter die Lösungen sind. Das blosse Stehen an freier Luft genügt, um bei sehr concentrirten Lösungen Unterschiede in der Concentration zwischen den oberflächlichen und den tiefen Schichten der Flüssigkeit herbeizuführen, die sich dann bei jeder Bewegung der Flüssigkeit als Striemen und Schlieren in ihr ausdrücken. Als ich die beiden Zuckerlösungen vom Brechungsindex 1·473 in den Apparat eingefüllt hatte, und zunächst durch denselben gegen einen leuchtenden Punkt mit freiem Auge hinblickte, zeigte es sich, dass wegen der vielfachen Schlieren in der Flüssigkeit kein auch nur annähernd brauchbares Bild des leuchtenden Punktes zu Stande kam.

Ich musste die Lösungen so stark mit Wasser verdünnen, bis sie nur mehr einen Brechungsindex $n_D = 1{\cdot}380$ hatten, um die Schlieren los zu werden.

In dieser Concentration hatte die rechtsdrehende Lösung ein Drehungsvermögen[1]) von $[\varrho]_A = +18^0$ für rothes Licht und von

[1]) Das Drehungsvermögen der Flüssigkeiten bestimmte ich durchwegs mit dem Mitscherlich'schen Apparate. Die Werthe für den „rothen Strahl" finden sich in dieser Arbeit aus dem Grunde immer angegeben weil, wegen der Färbung einiger der zu untersuchenden Flüssigkeiten, die Beobachtung mit Natriumlicht oder mit der couleur de passage an ihnen undurchführbar war.

$[\varrho]_{ts} = +22^0$ für die teinte sensible. Die beiden entsprechenden Werthe für die linksdrehende Lösung waren:

$$[\varrho]_A = -7^0 \text{ und } [\varrho]_{ts} = -8\cdot5^0.$$

Das Dispersionsvermögen dieser beiden Lösungen war merklich dasselbe, woraus der Vortheil erwuchs, dass weisses Licht zu dem Versuche verwendet werden konnte.

Die Versuchsanordnung war folgende: Vor der als Lichtquelle dienenden Gasflamme stand ein undurchsichtiger Schirm, in dessen Mitte sich ein von einer feinsten Oeffnung durchbohrtes Staniolblättchen befand. Das von diesem kommende Licht fiel auf die eine Endplatte des Prismenapparates, welcher natürlich sorgfältig horizontal gestellt war, und in dessen Hohlräume alternirend die beiden Lösungen eingefüllt waren. Etwa fünf Meter vor dem Prismenapparate war das erwähnte Fernrohr aufgestellt, welches für diesen Versuch mit einem astronomischen Oculare versehen war, das 65-fache Vergrösserung gab, und welches auf das Loch im Staniol eingestellt war. Blickte man durch das Fernrohr, so sah man nicht einen hellen Punkt, sondern deren zwei nebeneinander. Der Anblick war ganz der eines gut aufgelösten Doppelsternes.

Da die später zu besprechende Prüfung mittels einer $\frac{\lambda}{4}$-Platte und eines Nicol'schen Prismas zwar gelang, und ein befriedigendes Resultat gab; mit dem starken Fernrohrocular, welches diese Flüssigkeiten bedingten, aber äusserst mühsam, und an der Grenze der Ausführbarkeit war, so suchte ich nach Flüssigkeiten mit stärkerem Drehungsvermögen, und folglich stärkerer Doppelbrechung, die erlaubte, das schwächere, nur 15malige Vergrösserung gebende, astronomische Ocular meines Fernrohres zu verwenden. Zwischen dieses Ocular und das Auge konnte der für die erwähnte Prüfung nöthige Apparat eingeschaltet werden, ohne dass dadurch die Beobachtung so erschwert wurde, wie dies bei dem starken Oculare der Fall war.

Ich verwendete bei dem nächsten Versuche als rechtsdrehende Flüssigkeit Orangenöl, eine ganz klare, leichtbewegliche, blassgelbliche, sehr stark und angenehm duftende Flüssigkeit, das aus Po-

---

Die Ablesung bei rothem Lichte geschah durch Vorkleben eines Stückes intensiv gefärbten rothen Ueberfangsglases (Kupferoxydulglas) vor das der Lichtquelle zugewandte Ende des Apparates. Der Index „*A*“ rechts an der Klammer bedeutet, dass die betreffende Bestimmung des Rotationsvermögens mit rothem Lichte gemacht wurde, der Index „*ts*“ bedeutet, dass die Bestimmung mit weissem Lichte mittels Einstellung auf die teinte sensible gemacht wurde.

meranzenschalen gewonnene aromatische Oel, (nicht das aus den Pomeranzenblüthen gewonnene, auch unter dem Namen „Neroli“ bekannte).

Nach einer in Wüllner's Lehrbuch citirten Angabe[1]) kommt diesem Oel ein sehr hohes Drehungsvermögen zu. Meine Messungen am Orangenöl ergaben:

$$[\varrho]_{ts} = + 98{\cdot}3^0; \ [\varrho]_A = + 74{\cdot}1^0.$$

Der Brechungsindex des von mir verwendeten Orangenöles war $n_D = 1{\cdot}4713$. Abgesehen von den anderen Gründen, die gegen eine Herabsetzung desselben durch Verdünnung mit inactiven Flüssigkeiten sprachen, musste ich, wie die Rechnung lehrte, eine solche jedenfalls vermeiden, wenn die durch meinen Apparat gegebene Divergenz der beiden, verschieden gebrochenen Strahlen schon bei 15-facher Vergrösserung mit Sicherheit zur Erzeugung zweier, deutlich als getrennt zu erkennender Bilder führen sollte Und selbst hiefür war es sehr wünschenswerth, als Gegenflüssigkeit eine möglichst stark linksdrehende Substanz anzuwenden. Das linksdrehende Terpentinöl, für dessen Verwendung ich mich entschied, hatte aber nur ein Brechungsvermögen $n_D = 1{\cdot}4678$. Dieses musste erhöht werden auf den Betrag von 1·4713; denn frühere Versuche hatten mich darüber belehrt, dass bei einem Unterschiede von drei und ein halb Einheiten der dritten Decimalstelle zwischen den Brechungsindices der beiden, in die Prismen meines Apparates zu füllenden Flüssigkeiten, keine Rede davon gewesen wäre, dass das durch die eine Endplatte senkrecht eintretende Licht überhaupt noch durch die andere Endplatte austräte; ja die Ablenkung war selbst bei völliger Uebereinstimmung der dritten Decimale, in dem früher mitgetheilten Versuche mit den Zuckerlösungen, so störend, dass ich daraus die Nothwendigkeit entnahm, auch noch die vierte Decimalstelle des Brechungsindex zu berücksichtigen. Zur Erhöhung des Brechungsindex des Terpentinöles benützte ich ein Ricinusöl vom Brechungsindex $n_D = 1{\cdot}4780$, und stellte aus diesen beiden Flüssigkeiten eine ganz klare, fast farblose Mischung vom Brechungsindex $n_D = 1{\cdot}4713$ her, also von demjenigen des Orangenöles. Allerdings war das Ricinusöl rechtsdrehend, $[\varrho]_{ts} = + 9^0$, und es wurde durch seine Beimischung zum Terpentinöl das Linksdrehungsvermögen der Mischung herabgesetzt auf: $[\varrho]_{ts} = - 25{\cdot}5^0$, eine Zahl, die

---

[1]) Gernez, Annales de l'école norm. T. I. Paris 1864.

mit der durch die Rechnung[1]) erhaltenen vollkommen übereinstimmte.

Die beiden Flüssigkeiten konnten nun in den Apparat nicht ohne Weiteres eingefüllt werden, da die Glastheile, aus denen er ausschliesslich besteht, mit einem Schellackkitt aneinander befestigt waren, der zwar wasserdicht war, aber den neuen Flüssigkeiten

---

[1]) Dieser Rechnung lagen zu Grunde: die von Wiedemann für das Terpentinöl gefundenen Zahlen, die von mir für das Ricinusöl gefundene Zahl, das Mischungsverhältniss der beiden Flüssigkeiten (1 : 0·52239), und die Voraussetzung, dass die beiden specifischen Drehungsvermögen sich in der Mischung nicht ändern. — Das Mischungsverhältniss war selbst wieder unter der Voraussetzung berechnet dass die optische Dichte der Mischung genau proportional sei den Mengen und optischen Dichten der Bestandtheile, welche Voraussetzung sich für diesen Fall vollkommen bestätigt fand.

Die sämmtlichen, in dieser Abhandlung vorkommenden Bestimmungen von Brechungsindices sind mit einem, aus der Zeiss'schen Werkstätte hervorgegangenen „grossen" Abbe'schen Refractometer gemacht. Je länger ich mit diesem vortrefflichen Instrumente arbeitete, desto mehr lernte ich den Umstand bedauern, dass an demselben Klemmvorrichtung und Mikrometerschraube zur feinen Einstellung, ferner ein Nonius und eine Ableselupe fehlen. Ueber das Vertrauen, welches mit diesem Instrumente ausgeführte Messungen verdienen, möchte ich mir folgende Bemerkungen erlauben. Meine eigenen Messungen an Flüssigkeiten mit grossem Lichtbrechungsvermögen (über 1·4) stimmten unter einander (wenn sie an demselben Objecte gemacht wurden) so genau überein, dass ich als Fehlergrenze zwei Einheiten der vierten Decimale bezeichnen möchte. Nun war mein College Professor Sigmund Exner zufälligerweise gleichzeitig mit mir (jedoch zu einem, mit dieser Untersuchung nicht im mindesten zusammenhängenden Zwecke) darauf angewiesen, mit demselben Instrumente zahlreiche Messungen stark lichtbrechender Flüssigkeiten zu machen. Die Genauigkeit, mit welcher die Messungen meines Freundes unter einander übereinstimmten, war ebenso gross wie die, welche ich oben für mich angegeben habe. So oft wir aber beide den Brechungsindex an demselben Objecte maassen, zeigte sich ein constanter Unterschied von 2 bis 3 Einheiten der vierten Decimale, immer in demselben Sinne, zwischen unseren Resultaten. Dieser Unterschied rührt — wie wir uns direct überzeugten — davon her, dass jeder von uns auf eine andere Intensität innerhalb der Schattengrenze einstellte. Wer aber Recht hatte, weiss ich nicht. Wie soll man sich überhaupt darüber belehren, auf was man einzustellen hat? Das Auskunftsmittel, destillirtes Wasser von bekannter Temperatur zwischen die Glaskeile zu bringen, den dieser Temperatur entsprechenden Brechungsindex genau einzustellen, und dann durch das Instrument zu sehen, hat keinen Werth, denn bei Flüssigkeiten von so kleinem Brechungsindex liegt ohnehin keine Schwierigkeit vor. Diese beginnt erst, wenn man es mit Flüssigkeiten zu thun hat, deren Brechungsvermögen sich dem des Glases im Apparat nähert. Ich weiss keinen anderen Ausweg, als: an einer stark brechenden Flüssigkeit auf andere Weise (mit dem Spectrometer) den Brechungsindex für Licht von der Wellenlänge der D-Linie genau zu messen, diese Flüssigkeit dann zwischen die Glaskeile des Refractometers zu bringen, den vorher er-

sicher nicht Stand gehalten hätte. Ich sah mich also zu der sehr lästigen Aufgabe genöthigt, den Apparat ganz frisch zu kitten. Hierzu bediente ich mich einer Chrom-Gelatine, die dann belichtet wurde, und die sich recht zweckentsprechend erwies.

Der Versuch selbst war ganz so angeordnet, wie der früher beschriebene mit den Zuckerlösungen. Die neuen Flüssigkeiten hatten zwar an und für sich keine Schlieren, dagegen in ziemlich hohem Grade die Tendenz, an Glaswänden emporzuklettern, so dass die Hohlprismen nicht ganz angefüllt werden durften, wenn nicht zu bald Berührung und Mischung der beiden Oele, und in Folge hievon Schlierenbildung eintreten sollte.

Ferner war das Dispersionsvermögen der beiden Flüssigkeiten ein so verschiedenes, dass bei Besichtigung eines weiss leuchtenden Punktes, durch den gefüllten Apparat, mit freiem Auge, ein linienförmiges, sehr breites Spectrum erschien. Es wurde desshalb als Lichtquelle hinter dem Schirme eine sehr hell leuchtende Natriumflamme angebracht.

Selbst bei der geringen Vergrösserung meines schwächeren Oculares sah man aber bei diesem Versuche die beiden Bilder weiter von einander getrennt, als bei der starken Vergrösserung mit den Zuckerlösungen; auch waren wegen der vollkommenen Klarheit der Flüssigkeiten die Bilder absolut scharf. Die oben, bei der Schilderung des Versuches mit den Zuckerlösungen, nur flüchtig erwähnte Probe bestand in Folgendem.

Wenn die optisch activen Flüssigkeiten wirklich doppelbrechend sind, und wenn die beiden Bilder, welche ich mittelst meines Apparates beobachtete, wirklich von dieser Doppelbrechung herrühren so müssen sie aus circular polarisirtem Lichte bestehen, und die Richtung der Polarisation muss in dem einen Bilde entgegengesetzt der Richtung der Polarisation in dem zweiten Bilde sein. Nun ist bekanntlich circular polarisirtes Licht, welches eintritt in ein Glimmerplättchen, das gerade so dick ist, dass der eine der beiden Strahlen, in die das Licht in ihm zerfällt, gegen den anderen um eine Viertelwellenlänge verzögert wird, nach dem Austritt aus dem Glimmer

---

mittelten Brechungsindex am Apparate einzustellen, und dann genau zu studieren und sich gut zu merken, welcher Theil der Schattengrenze eingestellt ist. Bei Beobachtung dieses Verfahrens, und unter der Voraussetzung, dass die oben erwähnten Hilfsmittel zur feineren Einstellung und Ablesung angebracht wären, müsste das besprochene treffliche Instrument sich für Messungen von noch grösserer Genauigkeit schicken, als dasselbe nach seiner Einrichtung dermalen zu prätendiren scheint.

linear polarisirt; und zwar ist, wenn man sich das Glimmerplättchen in einer bestimmten Orientirung festliegend denkt, die Polarisationsebene des austretenden Strahles parallel oder senkrecht zu einer bestimmten Richtung, je nachdem der Lichtstrahl vor dem Eintritte in den Glimmer rechts oder links circular polarisirt war. Waren also die Lichtstrahlen, welche die beiden von mir beobachteten Bilder erzeugten, in dem einen Bilde rechts, in dem anderen links circular polarisirt, so mussten sie, nachdem sie durch ein $\frac{\lambda}{4}$ Glimmerplättchen gegangen waren, in beiden Bildern linear polarisirt sein, in dem einen Blilde in einer bestimmten Ebene, in dem anderen Bilde in der darauf senkrechten Ebene. Betrachtete ich nun die ganze Erscheinung durch ein Nicol'sches Prisma, welches ja linear polarisirtes Licht, das in einer bestimmten Ebene schwingt, nicht durchlässt, so musste bei einer gewissen Stellung des Nicol-schen Prismas das eine Bild verschwinden; und bei einer um 90^0 gegen die erste gedrehten Stellung des Nicol'schen Prismas musste das andere Bild verschwinden. Dieses Verhalten mussten die beiden Bilder beobachten lassen, wenn ich mit Bestimmtheit jede andere Provenienz des Doppelbildes ausschliessen wollte. Es war aber um so nothwendiger, diese Erscheinung zu beobachten, je mehr Gelegenheit durch die zahllosen Reflexionen in meinem Apparate für das Zustandekommen eines Nebenbildes geboten war.

Ich habe schon oben bemerkt, dass es mir an dem, durch die Zuckerlösungen hervorgebrachten Doppelbilde gelungen ist, zu beobachten, wie, nachdem die aus dem Fernrohre austretenden Strahlen durch eine $\frac{\lambda}{4}$ Platte gegangen waren, bei Betrachtung des Phänomenes durch ein Nicol'sches Prisma, von den beiden Bildern nur eines übrig blieb, bei zwei bestimmten, aufeinander senkrechten Orientirungen des Nicol'schen Prismas. Da jedoch bei dieser Beobachtung das Auge wegen der Anbringung der $\frac{\lambda}{4}$ Platte und des Nicol'schen Prismas zwischen ihm und dem Oculare, ziemlich weit von letzterem sich zu entfernen gezwungen ist, so war die ganze Beobachtung mit dem stärkeren der beiden Oculare, über die ich verfügte, äusserst schwierig; immerhin aber hatte sie einen mich vollständig beruhigenden Grad von Deutlichkeit.

Da ich aber die Versuche auch Anderen zeigen wollte, so trachtete ich danach, eine etwas weniger mühsame und unbequeme Anordnung herzustellen. Die beträchtlich stärkere Doppelbrechung

in den zuletzt angewandten Flüssigkeiten gestattete, wie schon gesagt wurde, die Benützung des schwächeren Oculares, und dieses wieder erlaubte dem Auge des Beobachters, sich in die gebotene Entfernung zu begeben, ohne dass die Auffindung und Festhaltung des Bildes dadurch in so erheblichem Maasse schwieriger und anstrengender wurde, wie bei dem starken Oculare. Bei dem Versuche mit Orangenöl, und der Mischung von Ricinus- und Terpentinöl gelang es denn sowohl mir als auch Anderen verhältnissmässig leicht, das Verschwinden des einen der beiden Bilder bei einer gewissen Stellung, und des anderen Bildes bei der darauf senkrechten Stellung des Nicol'schen Prismas zu beobachten, als zwischen dieses und das Fernrohrocular eine $\frac{\lambda}{4}$ Platte gestellt war.

Auf Grund der geschilderten Versuche halte ich mich für berechtigt, folgende Sätze auszusprechen:

Es giebt doppelbrechende Flüssigkeiten. —

Die beiden Strahlen, in die ein — ordinärer oder linear polarisirter — Lichtstrahl in diesen Flüssigkeiten zerfällt, sind circular und einander entgegengesetzt polarisirt. —

Aus der ungleichen Geschwindigkeit dieser beiden Strahlen in der Flüssigkeit folgt eine, dem Wege in der Flüssigkeit proportionale Phasendifferenz, welche die ganze und einzige Ursache der Circumpolarisation dieser Flüssigkeiten ist. —

Die doppelbrechenden flüssigen Körper haben keine optische Axe; — sondern die Wellenoberfläche des Lichtes in diesen Flüssigkeiten besteht aus zwei concentrischen Kugelflächen.

Die Deformation der Lichtwellenfläche im magnetischen Felde.

(Aus dem XC. Bande der Sitz.-Ber. der k. Akademie der Wissensch. II. Abth. Dec.-Heft. Jahrg. 1884.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 18. December 1884.)

(Mit 2 Figuren.)

Durch Aufstellung der Gleichung der Wellenoberfläche in einem Medium zeigt die Theorie an, dass sie sich der, in diesem Medium auftretenden, optischen Phänomene völlig bemächtigt, und ihr analytisches Verständniss erledigt hat. Aber auch das anschauliche Verständniss ist kein vollkommenes, und fühlt sich nicht beruhigt, wenn ihm nicht als Basis für seine Constructionen die Vorstellung von der Gestalt und den räumlichen Eigenschaften der betreffenden Wellenoberfläche zu Gebote steht.

Die Gruppe merkwürdiger optischer Eigenschaften, welche viele, an und für sich isotrope, feste und flüssige Substanzen während ihres Aufenthaltes in einem magnetischen oder elektrischen Felde zeigen, ist unserem analytischen und anschaulichen Verständnisse noch nicht erschlossen, da weder die mathematische Behandlung, noch auch — so viel mir bekannt ist — eine andere Art der Ueberlegung zur Construction einer Wellenoberfläche geführt hat, aus deren Gestalt die durch das Experiment festgestellten Thatsachen sich erklären.

Wenn nun in der folgenden Darstellung jene Literatur, welche sich mit der theoretischen Behandlung der Lichtbewegung im magnetischen Felde beschäftigt, ganz und gar unberücksigt bleibt, so erklärt sich das, und erscheint selbstverständlich durch den Mangel jeglicher Beziehung zwischen dem, was man in der Optik „Theorie“ nennt, und dem, was hier vorgebracht wird. Es handelt sich weder um den Versuch einer Theorie, noch überhaupt um das Bestreben,

das Ziel der Theorie auf einem der bisher betretenen, oder auf einem anderen Wege zu erreichen, sondern einzig und allein um die Mittheilung einer Muthmaassung über die Gestalt der Wellenoberfläche des Lichtes im magnetischen Felde, und um die Darlegung der Gründe, welche die gemuthmaasste Gestalt als wahrscheinlich — ja sogar sie oder eine ihr sehr ähnliche Gestalt als die einzig mögliche erscheinen lassen. Ich denke, es versteht sich von selbst, dass durch einen solchen Nachweis, selbst wenn er gelingt, eine Theorie der betreffenden Lichtbewegung weder dargeboten, noch überflüssig gemacht ist, dass vielmehr ein solcher Nachweis nicht den mindesten Zusammenhang mit einer Theorie, keinerlei Beziehung zu einer solchen besitzt. Für ein anschauliches Verständniss der so eigenthümlichen Phänomene im magnetischen Felde, und für die Beseitigung des Zweifels, ob diese Erscheinungen auf Grund derselben Principien erklärbar seien, wie die übrigen optischen Phänomene, mag jedoch die von mir ersonnene Muthmaassung einigen Werth besitzen, und ihre ausführlichere Mittheilung glaube ich auch durch eine überraschende Uebereinstimmung rechtfertigen zu dürfen, welche sich zwischen einer, aus meiner Conjectur durch Rechnung abgeleiteten Function, und den Resultaten früherer, von Verdet angestellter Messungen ergeben hat — eine Uebereinstimmung, welche wesentlich weiter geht, als die zwischen jenen Messungen, und der von Verdet selbst aus ihnen abstrahirten Function.

Bekanntlich besteht die charakteristische Eigenthümlichkeit der Lichtbewegung im magnetischen Felde, durch welche sie geradezu im Gegensatz zu der unter allen übrigen Bedingungen stattfindenden Lichtbewegung, und somit ganz isolirt ist, darin, dass in einem magnetischen Felde, in welchem die Verbindungslinie der Magnetpole sich von Nord nach Süd erstreckt, ein linear polarisirter Lichtstrahl, welcher das Feld in dieser Richtung durchzieht, und in dem z. B. die Schwingungsebene anfänglich vertical ist, ob er nun von Nord nach Süd, oder ob er von Süd nach Nord geht, in beiden Fällen in solcher Weise eine Drehung der Polarisationsebene erleidet, als würden die Schwingungsbahnen durch einen nur deren obere Hälften treffenden Wind, der von Ost nach West streicht, um den Strahl als Axe zur Seite gedreht, so dass nach der üblichen Ausdrucksweise dieses Feld, wenn es von Süd nach Nord durchstrahlt wird, gleich einer linksdrehenden Substanz wirkt, aber wenn es von Nord nach Süd vom Strahl durchschritten wird, so wirkt, wie eine ebenso stark rechtsdrehende Substanz. Diese Eigenschaft, und ihre unmittelbare Consequenz: eine Verdoppelung der Drehung

beim Hin- und Rückgang eines Strahles durch ein magnetisches Feld, statt der bei allen, an und für sich drehenden Mitteln in diesem Falle erfolgenden Aufhebung der Drehung — sind zu bekannt, als dass länger bei ihnen zu verweilen nöthig wäre.

Bei dem innigen, durch die Fresnel'sche Theorie etablirten Zusammenhang zwischen Drehung der Polarisationsebene, und Doppelbrechung, frägt es sich nun, erstens ob die aus der Drehung im magnetischen Felde folgende Doppelbrechung in der üblichen Weise durch eine Wellenoberfläche darstellbar sei, und zweitens, wenn dies der Fall ist, welche Gestalt diese Wellenfläche hat.

Die Beantwortung dieser beiden Fragen ist das Ziel der vorliegenden Schrift. Dass es, wenn die magnetische Drehung der Lichtschwingungen auf Doppelbrechung beruht, einen geometrischen Ort geben muss, an dem die Bewegung zu einer gegebenen Zeit nach der Störung des Gleichgewichtes des Lichtäthers in einem Punkte des magnetischen Feldes anlangt, — darüber kann gar kein Zweifel bestehen. So lange eine Gestalt im Raume nicht angebbar ist, welche der Bedingung dieses geometrischen Ortes entspricht, kann man etwa vermuthen, dass die magnetische Drehung anders zu Stande komme, als die in circular doppelbrechenden Substanzen. Geht man aber von der Voraussetzung einer magnetischen Doppelbrechung als Grundlage der magnetischen Drehung aus, dann kann man nur mehr fragen, wie die Wellenfläche aussieht, aber nicht, ob sie existirt. Von dieser Voraussetzung aber gehe ich in Folgendem aus.

Um die Gestalt der Wellenfläche im magnetischen Felde zu entwickeln, nehmen wir an, ihr Mittelpunkt, also der Ort, an welchem die Störung im Gleichgewichte des Lichtäthers stattfindet, liege auf der Verbindungslinie zweier punktförmiger Magnetpole (oder — um einen, den wirklichen Verhältnissen entsprechenden Fall zu betrachten, an einer solchen Stelle eines magnetischen Feldes, an welcher die Kraftlinien untereinander merklich parallel verlaufen). — Die Verbindungslinie der Pole wählen wir zur X-Axe eines rechtwinkligen Raumcoordinatensystemes, dessen Nullpunkt mit dem Punkte, an welchem die Störung stattfindet, zusammenfällt. Vorderhand sei das Feld noch nicht magnetisch, also etwa der, den Elektromagneten erregende Strom noch nicht geschlossen. Das Licht, dessen Fortpflanzungsweise wir untersuchen, sei linear polarisirtes. Dann ist seine Wellenoberfläche im isotropen Medium natürlich eine Kugeloberfläche, oder, wenn wir, einer allgemein bekannten Vorstellungs-

weise uns bedienend, statt des einen linear polarisirten, zwei circular und einander entgegengesetzt polarisirte Strahlen annehmen, treten an die Stelle jener einen Kugelfläche zwei aufeinanderfallende, identische solche Flächen.

Nun stelle man sich vor, diese beiden Kugeloberflächen erleiden eine und dieselbe homogene lineare Deformation längs der X-Axe; das Maass der Deformation sei: n. — Hierdurch bleiben alle Entfernungen zwischen je zwei Punkten, die in einer der zur X-Axe normalen Ebene liegen, unverändert; alle Entfernungen zwischen Punkten, die in einer der Geraden liegen, welche zur X-Axe parallel sind, werden mit n multiplicirt — kurz: es werden aus den beiden identischen Kugeln: zwei identische Rotationsellipsoide, deren gemeinsamer Mittelpunkt der der früheren Kugeln ist. Wir müssen uns das Maass der Deformation, n, als eine Zahl denken, die nur um sehr Weniges grösser ist als 1, so dass die Excentricität der Ellipsoide eine äusserst geringe ist, und ihre Brennpunkte (α, β) zu beiden Seiten von O, sehr nahe an O liegen. Nun denke man sich ferner das eine der beiden Ellipsoide längs der X-Axe um ein ganz kleines Stück aus seiner Anfangslage verschoben; und das zweite Ellipsoid um ein ebenso grosses Stück nach der entgegengesetzten Richtung auf der X-Axe verschoben, so dass die Mittelpunkte der beiden Ellipsoide zu beiden Seiten des O-Punktes gleich weit von ihm entfernt liegen. Man kann noch, um einen möglichst einfachen analytischen Ausdruck für diese Flächen zu bekommen, eine Beziehung etabliren zwischen der Grösse der Deformation, und der Grösse der Verschiebung auf der X-Axe; und zwar folgende: Man schiebe das Ellipsoid e so weit, bis sein einer Brennpunkt (α_1) mit dem O-Punkt zusammenfällt, und das Ellipsoid ε so, dass sein Brennpunkt (β_2) auf den O-Punkt fällt. Der analytische Ausdruck der Doppelfläche, welche durch die, zum Theile in einander liegenden Oberflächen beider Ellipsoide gebildet wird, enthält dann, ausser dem Halbmesser r der zu Anfang vorhandenen Kugel, und ausser dem linearen Maasse n, der Deformation, welche diese erlitten haben, keine benannten Constanten; er lautet:

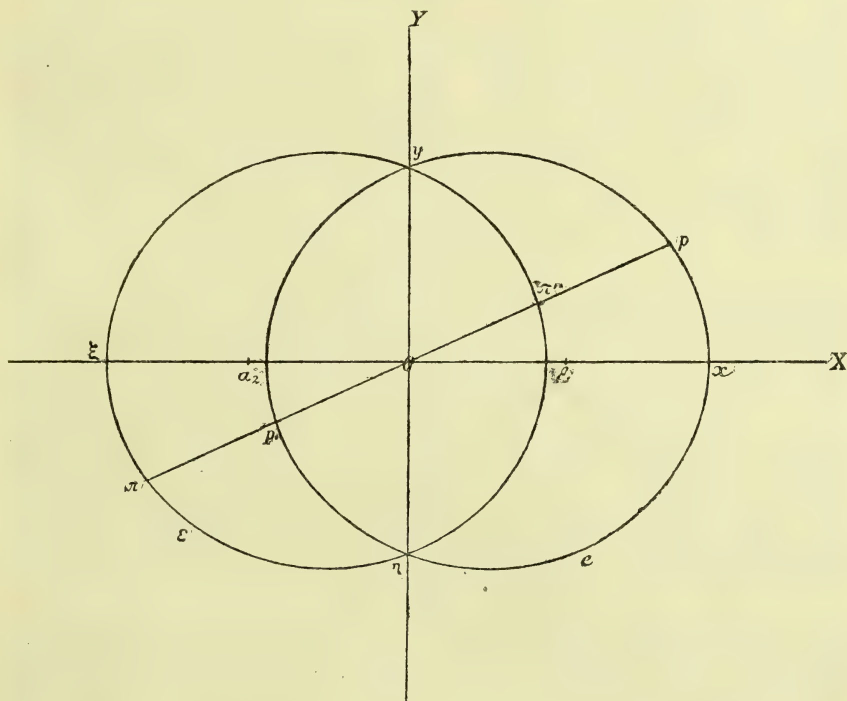
$$\frac{n^2x^2 + y^2 + z^2}{r^2n^2} \pm \frac{2x\sqrt{n^2-1}}{r} = \frac{n^2+1}{n^2} - n^2 \qquad \text{I)}$$

Ich will nun zeigen, dass die hier entwickelte Doppelfläche alle Eigenschaften der Wellenoberfläche im magnetischen Felde hat, und

mich hierzu der Figur 1 bedienen, welche den Durchschnitt der Doppelfläche mit der XY-Ebene darstellt.[1])

Die mit Cursivbuchstaben (x, p, y, p') bezeichnete Ellipse gehört dem Ellipsoide e an, und ist der Theil der Wellenfläche, welcher sich auf die rechts circular schwingenden Strahlen bezieht, das heisst: Strahlen rechts circular polarisirten Lichtes erreichen, gleichzeitig von O ausgehend, gleichzeitig die Punkte der Oberfläche des

Fig. 1.



Ellipsoides e; Strahlen links circular polarisirten Lichtes derselben Farbe, welche gleichzeitig mit den anderen von O ausgehen, erreichen in der gleichen Zeit die Punkte der Oberfläche des Ellipsoides ε, dem in der Ebene der Zeichnung die mit griechischen Buchstaben (ξ, π, η, π') versehene Ellipse entspricht.

Zunächst ist ersichtlich, dass in der YZ-Ebene, in welcher die Ellipsoide einander schneiden, liegende Strahlen (z. B. die in der

---

[1]) Der Deutlichkeit halber ist in dieser Figur die Excentricität der Ellipsen, ebenso wie ihre Verschiebung auf der X-Axe, im Vergleiche mit den wirklich stattfindenden Verhältnissen, sehr stark übertrieben.

Y-Axe selbst liegenden Strahlen Oy, $O\eta$), mögen sie rechts oder links circular schwingendem Lichte angehören, die gleiche Geschwindigkeit haben, indem für diese Strahlen die Punkte beider Wellenflächen paarweise zusammenfallen. In Wirklichkeit bleibt die Polarisationsebene von Strahlen linear polarisirten Lichtes, welche in der angegebenen Richtung das magnetische Feld durchsetzen, unverändert.

Ferner geht unmittelbar aus der Figur hervor, dass für Strahlen, welche von O in der Richtung Op ausgehen, die Geschwindigkeit eine verschieden grosse ist, je nachdem sie rechts oder links circular polarisirt sind; erstere gelangen in derselben Zeit bis p, in welcher letztere nur bis π' gelangen. Diese Differenz der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der beiden, entgegengesetzt schwingenden Hälften des, von O aus in der Richtung nach p gehenden, linear polarisirten Lichtes drückt sich in der Beobachtung (durch einen Analyseur) als Drehung der Polarisationsebene aus; in unserem Falle, als Drehung „nach rechts". Der Betrag dieser Drehung hängt von der Grösse der Differenz, also von der Länge $\pi' p$ ab, ist also ein und derselbe für alle Strahlen, die von O aus nach irgend einem Punkte desjenigen Parallelkreises (auf dem Rotationsellipsoid e) hin gehen, auf dem der Punkt p selbst liegt. — Derselbe, durch die Länge $\pi' p = -p' \pi$ gemessene Unterschied der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten rechts und links circularen Lichtes wird für Strahlen bestehen, welche von O nach π gehen, oder von O nach einem Punkte des Parallelkreises, auf dem π liegt; nur pflanzen sich in dieser Richtung die links circularen Strahlen um ebenso viel schneller fort, wie im ersten Falle die rechts circularen.

Nehmen wir nun etwa an, die lineare Bahn des Aethertheilchens in O stände senkrecht auf der Zeichnungsebene (liege in der Z-Axe), und werde durch den Punkt O halbirt, so dass die eine Hälfte dieser Bahn vor der Ebene der Zeichnung liegt. Stelle ich mich nun in diese Schwingungsbahn, und blicke dem von O nach p gehenden Strahle nach, so werden, nach dem früher Gesagten, die oberen (vor der Zeichnung liegenden) Hälften der Schwingungsbahnen mir um so stärker nach rechts sich zu neigen scheinen, je weiter gegen p zu das Licht fortschreitet. Bleibe ich nun zwar in O stehen, drehe mich aber um, und blicke dem von O aus nach π fortschreitenden Strahle nach, so werden mir, dem oben Gesagten zufolge, die Schwingungsbahnen der Aethermoleküle mit ihren oberen, vor der Zeichnungsebene gelegenen Hälften sich um so stärker nach links zu neigen scheinen, je weiter sie sich von mir ent-

fernen. Für einen Beobachter jedoch, der nicht, wie ich, im Mittelpunkte der Welle steht, und der sich nicht, wie ich, zwischen den beiden Beobachtungen umdreht, sondern der den ganzen Vorgang von einem irgendwo ausserhalb der Wellenfläche gelegenen Standpunkte aus betrachtet, wird die Drehung der Schwingungsbahnen dem Sinne nach dieselbe sein, beim Fortschreiten des Lichtes von O nach p, wie beim Fortschreiten von O nach π — und wegen der Gleichheit der Längen $\pi' p$ und $p' \pi$, wird auch der Betrag der Drehung sich in beiden Fällen als der gleiche zeigen.

Aus der Voraussetzung dieser Gestalt der Wellenfläche folgt also unmittelbar jene Unabhängigkeit der Drehungsrichtung der Polarisationsebene von dem Vorzeichen der Richtung des Fortschreitens des Lichtes, welche die charakteristische optische Eigenschaft des magnetischen Feldes ist, da sie die Einwirkung des magnetischen Feldes auf die Schwingungsrichtung des Lichtes in einen Gegensatz bringt zur Einwirkung auf die Schwingungsrichtung des Lichtes von Seiten aller anisotropen Substanzen.

Man sieht leicht ein, dass die Wellenoberfläche, aus deren Voraussetzung diese eben besprochene charakteristische Eigenthümlichkeit folgt, nicht gerade nur die eine Gestalt haben muss, welche der obigen Auseinandersetzung zu Grunde gelegt wurde, sondern dass vielmehr alle geschlossenen Doppelflächen diess leisten, welche aus der Rotation zweier, einander in der YZ-Ebene schneidender Curven um die X-Axe hervorgehen, wenn nur jede der beiden erzeugenden Curven das Spiegelbild der anderen bezüglich der YZ-Ebene ist, und wenn nur jeder ausserhalb der YZ-Ebene liegende Centralstrahl die Doppelfläche 4 mal schneidet.

Aber nicht bloss dieser Verallgemeinerung unterliegt die oben geschilderte Wellenform, wenn sie keiner anderen, als der soeben ausführlich besprochenen Bedingung zu genügen hat, sondern sie lässt auch noch eine Specialisirung und zugleich Vereinfachung zu; indem eine Deformation der, unserer Entwicklung zu Grunde liegenden, identischen Kugelflächen überhaupt nicht nothwendig ist, sondern eine (kleine) Verschiebung der beiden Kugeln in entgegengesetzten Richtungen auf der X-Axe die gestellte Bedingung ebenfalls erfüllt. Der analytische Ausdruck dieser Doppelfläche:

$$(x \pm \xi)^2 + y^2 + z^2 = r^2 \qquad \text{II)}$$

kann aus der Gleichung, welche oben für die aus Ellipsoiden bestehende Wellenfläche gegeben wurde, nicht abgeleitet werden, da in Gleichung I) ein Zusammenhang zwischen der Grösse der De-

formation, und der Grösse der Schiebung vorausgesetzt ist, durch welchen beide gleichzeitig verschwinden, so dass Gleichung I), wenn man in ihr $n = 1$ setzt, direct in die Mittelpunktsgleichung einer Kugel übergeht, während unsere Fläche II) aus der früher besprochenen, durch Verschwinden der Deformation allein hervorgeht. —

Auf die Frage, welche von allen, der bewussten Bedingung genügenden Doppelflächen nun die, der Lichtbewegung im magnetischen Felde wirklich entsprechende sei; und aus welchen Gründen ich die durch Gleichung I) dargestellte dafür halte, habe ich Folgendes zu antworten:

Die Wellenfläche, welche der Lichtbewegung im magnetischen Felde entspricht, muss folgende Eigenschaften besitzen.

1. Sie muss durch einen Vorgang von stetiger Natur aus der Kugel ableitbar sein, wegen des Ganges der Erscheinungen bei stetig von Null aus wachsender Intensität des Magnetismus.

2. Sie muss die *YZ*-Ebene nur in einer Curve schneiden, und zwar in einer Kreislinie; also müssen ihre beiden Theile einander ebenfalls in dieser Weise schneiden (oder berühren).

3. Sie muss durch Rotation einer ebenen Figur um die X-Axe entstehen.

4. Es darf nicht, wie bei einaxigen Krystallen, der eine Theil ganz innerhalb des anderen liegen, sondern jeder Theil muss ein ebenso grosses Stück des anderen einschliessen, als von ihm selbst durch den anderen Theil eingeschlossen wird, so dass um die *YZ*-Ebene nur eine geometrische, aber keine optische Symmetrie besteht. —

Durch die Erinnerung an die Rolle, welche das Rotations-Ellipsoid bei der einaxigen Doppelbrechung spielt, und durch die so nahe liegende Vorstellung, dass Kräfte, die ausschliesslich parallel einer geraden Linie wirken, auch nur Veränderungen an der Gestalt der einfachen Wellenfläche hervorrufen werden, welche durch Bewegungen ihrer einzelnen Punkte in der Richtung dieser Geraden entstehen, wie die lineare Deformation, endlich weil die, aus einer solchen Deformation der Kugel hervorgehende Gestalt, nächst dieser selbst, überhaupt die einfachste ist, wurde ich auf die oben vorgetragene Muthmaassung geführt. Warum ich aber, nachdem ich schon dem — so zu sagen unerlaubten — Argumente der „Einfachheit“ einen Platz in meiner Betrachtung eingeräumt habe, bei der aus zwei Ellipsoiden bestehenden Wellenfläche stehen geblieben

bin; weshalb ich überhaupt mit einiger Bestimmtheit diese als die wirklich vorhandene Wellenfläche bezeichne, das wird sich aus dem nun Folgenden ergeben.

Es existirt nämlich noch eine, bisher von uns nicht in Betracht genommene Erfahrungsthatsache in diesem Gebiete von Erscheinungen, welche, so wie sie in der theoretischen Behandlung desselben einen der Hauptausgangs- und Anhaltspunkte der Rechnung bildet, so auch für die hier angestellten Betrachtungen dadurch von grosser Bedeutung ist, dass sie eine Wahl unter den verschiedenen möglichen Gestalten der Wellenfläche ermöglicht; indem sich aus jeder Wellenfläche, welche durch ihre Gleichung ausgedrückt ist, eine Beziehung zwischen zwei Variablen durch Rechnung ableiten lässt, welche mit der, aus messenden Beobachtungen folgenden, analogen Beziehung derselben Variablen unmittelbar verglichen werden kann.

Bekanntlich hat M. Verdet in zwei kleinen Abhandlungen[1]) Versuche mitgetheilt, die er angestellt hatte, um zu prüfen, in welcher Weise die Grösse der Drehung der Polarisationsebene im magnetischen Felde abhängt von dem Winkel zwischen der Richtung der magnetischen Kraft und der Richtung der Lichtstrahlen.

Für diese Untersuchung war natürlich die übliche Methode[2]), welche angewendet wird, wenn beide Richtungen zusammenfallen, nicht brauchbar. Verdet beobachtete also an einem Apparate, welcher aus einem fixen, optischen Theile, und einem beweglichen, elektromagnetischen Theile bestand. Letzterer wurde von einem kräftigen Elektromagneten mit verticalen Schenkeln gebildet, auf denen Polschuhe aus weichem Eisen, die einander genähert werden konnten, befestigt waren. Der Magnet war um eine verticale, mitten zwischen den Schenkeln durchgehende Axe drehbar, und seine Drehungen wurden mittelst Nonius und Alhidade abgelesen. Bei der Beobachtung wurde durch die, zwischen den Polschuhen befindliche Substanz in einer Horizontalebene durchgesehen, welche der oberen Begrenzungsebene der Polschuhe parallel und möglichst nahe

---

[1]) Recherches sur les propriétés optiques des corps transparents soumis à l'action du magnétisme (deuxième partie); par M. Verdet. — Comptes rendus hebd. des séances de l'Académie des sciences, etc. Tome trente-neuvième, Paris 1854. — Séance du 18. Sept. 1854, pgg. 548, 549.

Recherches sur les propriétés optiques dévelopées dans les corps transparents par l'action du magnétisme; par M. Verdet. — Deuxième partie (I). — Annales de chimie et de physique, etc. — Troisième série. — Tome XLIII. Paris 1855. pgg. 37—44.

[2]) Durchbohrung der Pole oder Polschuhe.

war. Damit die Forderung eines homogenes Feldes, in dem die Substanz liegen soll, möglichst erfüllt werde, mussten die Polschuhe bestimmte Formen und Dimensionen erhalten, und ich verweile bei der Beschreibung der Verdet'schen Versuchsanordnung absichtlich so lange, um auf eine, offenbar auf einem Lapsus calami beruhende, irrthümliche Angabe Verdet's aufmerksam zu machen, die einen so wesentlichen Punkt betrifft, dass ihre ausdrückliche Richtigstellung gewiss nicht überflüssig ist. Wenn nämlich solche Messungen, wie Verdet sie vorgenommen hat, einen Werth besitzen sollen, so muss dafür gesorgt sein, dass bei allen Lagen des magnetischen Feldes gegen die Substanz, diese sich in einem Systeme merklich paralleler Kraftlinien befindet. Dafür hat Verdet durch eine passende Wahl der Länge der einander zugekehrten Polflächen, im Vergleich zu der Länge ihres Abstandes von einander, und auch zu der Länge des durchstrahlten Cylinders oder Prismas der untersuchten Substanz, Sorge getragen, und diess auch in seinen beiden Mittheilungen erwähnt, und zwar in der ganz kurzen Mittheilung in den Comptes rendus in richtiger Weise; in dem ausführlichen Aufsatz aber in den Annales de Chimie et de Physique, in welchem er seinen Apparat sehr genau, und mit Angabe aller Dimensionen beschreibt, ist die Rede von „deux lames en fer doux, de $0^m,016$ de longeur sur $0^m,04$ de largeur et $0^m,005$ d'épaisseur“[1]); während die Länge, wie aus der beigegebenen Figur, und aus der entsprechenden Stelle der anderen Abhandlung ganz unzweifelhaft hervorgeht, nicht 16 Mm., sondern 16 Cm. betrug. — Der Abstand der inneren Flächen der Polschuhe von einander war gleich 8 Cm., und die geprüften Substanzen wurden in ungefähr 4 Cm. dicker Schichte von den Lichtstrahlen durchsetzt.

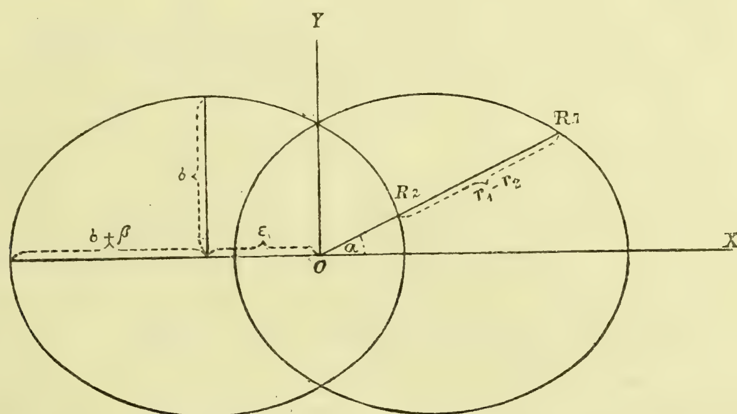
Verdet giebt an, dass er mehrere Reihen von Messungen gemacht hat, an fünf verschiedenen Körpern: An einer Sorte von Flintglas, an Schwefelkohlenstoff, und an drei verschiedenen Proben dęs schweren Faraday'schen Glases. In dem kurzen Aufsatz in den Comptes rendus theilt er jedoch die unmittelbaren Ergebnisse seiner Messungen gar nicht mit, sondern spricht nur das aus ihnen abstrahirte, bekannte Gesetz aus, dass die Drehung der Polarisationsebene dem Cosinus des Winkels zwischen der Richtung der magnetischen Kraft, und der Richtung der Lichtstrahlen proportional sei; aber auch in der ausführlicheren Abhandlung theilt Verdet leider nur zwei Messungsreihen mit, und sagt, die übrigen seien

[6]) L. c. pag. 39.

diesen beiden ähnlich gewesen. Die Uebereinstimmung der direct abgelesenen Drehungen mit den, aus dem Cosinusgesetze berechneten ist in beiden Reihen bekanntlich eine allgemein als hinreichend angesehene.

Die Wichtigkeit solcher Messungen für die Kritik der von mir vorgeschlagenen Wellenflächen ist nun unmittelbar ersichtlich. Da die letzteren durch ihre Gleichungen gegeben sind, so lässt sich aus diesen leicht für jede solche Wellenfläche berechnen, welches Gesetz sie für die Abhängigkeit der Drehung vom Winkel zwischen Kraftrichtung und Lichtstrahl bedingt. Bei der Berechnung dieses Gesetzes für die aus zwei Rotationsellipsoiden bestehende Wellenfläche habe ich die Annahme, welche der Gleichung I) zu Grunde liegt, dass nämlich die Verschiebung mit der Deformation in bestimmter Weise zusammenhängt, nicht gemacht; ferner konnte ich mich auf die Betrachtung des Durchschittes der Wellenfläche mit der XY-Ebene beschränken.

Fig. 2.



Bezeichnet man die kleine Axe der Ellipsen (Fig. 2)[1]) mit $2b$, ihre grosse Axe mit $2\,(b+\beta)$, die Entfernung ihres Mittelpunktes ven O mit ε, so ist die Gleichung beider Ellispen:

$$\frac{(x \pm \varepsilon)^2}{(b+\beta)^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \qquad 1)$$

Um zu dem Gesetze, welches wir suchen, zu gelangen, ist zu bemerken, dass der Betrag der Drehung der Polarisationsebene von der Grösse des Unterschiedes der Geschwindigkeit des rechts circu-

[1]) Auch in dieser Figur sind, wie in der ersten, die Excentrciität der Ellipsen, und ihre Verschiebung auf der X-Axe, sehr stark übertrieben dargestellt.

laren und des links circularen Strahles abhängt. Diese Geschwindigkeiten werden durch die, in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege OR_1 und OR_2 für den Strahl, welcher den Winkel a mit der X-Axe einschliesst, gemessen.

Es ist also zu berechnen, wie sich — wenn wir allgemein OR_1 mit r_1, und OR_2 mit r_2 bezeichnen — die Differenz $r_1 - r_2$ mit dem Winkel a ändert. —

Die durch Transformation der Gleichung 1) auf Polarcoordinaten gewonnene Gleichung:

$$\frac{(r \cos a \pm \varepsilon)^2}{(b+\beta)^2} + \frac{r^2 \sin^2 a}{b^2} = 1 \tag{2}$$

lässt sich leicht auf die Form einer, nach fallenden Potenzen von r geordneten, quadratischen Gleichung bringen:

$$r^2 \{b^2 \cos^2 a + (b+\beta)^2 \sin^2 a\} \pm r.2\varepsilon \cos a b^2 + b^2 \{\varepsilon^2 - (b+\beta^2\} = 0 \tag{3}$$

Bei der Auflösung dieser Gleichungen nach r braucht man für unseren Zweck bloss das eine Vorzeichen der Wurzelgrösse zu berücksichtigen; ferner setzen wir der Kürze wegen: $b = 1$, und $b + \beta = a$.

Wir erhalten dann:

$$r = \frac{a \sqrt{\cos^2 a + \sin^2 a\,(a^2 - \varepsilon^2)}}{\cos^2 a + a^2 \sin^2 a} \pm \frac{\varepsilon \cos a}{\cos^2 a + a^2 \sin^2 a} \tag{4}$$

Nennen wir den ersten Theil des Ausdruckes, rechts vom Gleichheitszeichen: A, den zweiten Theil: B, so haben wir:

$$\left.\begin{array}{l} r_1 = A + B \\ r_2 = A - B \end{array}\right\} \tag{5}$$

Für die, von uns gesuchte Differenz der Geschwindigkeiten erhalten wir:

$$r_1 - r_2 = 2B$$

somit:

$$r_1 - r_2 = \frac{2\varepsilon \cos a}{\cos^2 a + (1+\beta)^2 \sin^2 a} \tag{6}$$

und durch Reduction im Nenner:

$$r_1 - r_2 = \frac{2\varepsilon \cos a}{1 + 2\beta \sin^2 a + \beta^2 \sin^2 a} \tag{7}$$

Aus Gleichung 7)[1]) geht schon hervor, dass für die, aus zwei Kugeln bestehende Wellenfläche, für welche (wegen $\beta = 0$) das gesuchte Gesetz durch die Gleichung $r_1 - r_2 = 2\varepsilon \cos \alpha$ ausgedrückt wird, aus unserer Annahme dieselbe Proportionalität mit dem Cosinus von α folgt, welche von Verdet aus seinen Erfahrungen abstrahirt wurde.

Um zu dem entsprechenden Gesetze für die aus Ellipsoiden bestehende Wellenfläche zu gelangen, muss man die Anfangsglieder der Reihe entwickeln, welche aus der, in 7) angezeigten Division hervorgeht, und da erhält man:

$$[2\varepsilon \cos \alpha] : [1 + 2\beta \sin^2\alpha + \beta^2 \sin^2\alpha] = 2\varepsilon \cos \alpha - 4\varepsilon\beta \cos \alpha \sin^2\alpha + \\ + 2\varepsilon\beta^2 \sin^2\alpha \cos \alpha\, (4 \sin^2\alpha - 1) - \ldots \qquad 8)$$

Die Grösse 2ε, durch welche natürlich die ganze Reihe theilbar sein muss, hängt unmittelbar mit der Verschiebung der beiden Theile der Doppelfläche auf der X-Axe, vom O-Punkte nach beiden Seiten hin, zusammen. Die Grösse β, welche ein Maass der Excentricität der Ellipsoide darstellt, wird, der Erfahrung gemäss, ebenso wie ε, klein gedacht werden müssen neben der Einheit, und da die späteren Glieder der oscillirenden Reihe immer höhere Potenzen von β enthalten, neben rasch wachsenden Potenzen der echt gebrochenen trigonometrischen Functionen von α, so wird uns zunächst der Einfluss des zweiten Gliedes der Reihe auf den Gang der Function interessiren, mit welchem wir uns sofort beschäftigen wollen.[2]) Betrachten wir also nur die beiden ersten Glieder der Reihe 8), so erhalten wir:

$$r_1 - r_2 = 2\varepsilon \cos \alpha - 4\varepsilon\beta \cos \alpha \sin^2\alpha = 2\varepsilon\, (\cos \alpha - \beta \sin \alpha \sin 2\alpha) \qquad 9)$$

Wie schon oben aus Gleichung 7), so lässt sich auch aus Gleichung 9) das von Verdet aufgefundene Cosinusgesetz ableiten, wenn man $\beta = 0$ setzt, also die Wellenfläche als aus zwei Kugeln bestehend, ansieht.

Wenn man aber den Einfluss näher betrachtet, welchen das zweite Glied in der Klammer von 9) auf den Gang der Function

---

[1]) Der Betrag dieser Differenz wäre eigentlich streng genommen nicht — wie hier geschehen ist — an der Wellenoberfläche selbst, sondern an der, aus ihr abzuleitenden Hamilton'schen „surface of wave slowness" zu berechnen; jedoch kommt der Unterschied zwischen beiden Resultaten für unseren Fall absolut nicht in Betracht. —

[2]) Ein besonderer Beweis für die Convergenz dieser Reihe ist nicht nöthig, nachdem oben auf den Umstand hingewiesen ist, aus dem sich ihre Convergenz von selbst ergiebt: dass sie gleichzeitig fällt und oscillirt.

nimmt, unter der Voraussetzung, dass β ein kleiner, echter Bruch sei, so bemerkt man, dass, während a von Null bis 90° wächst, das zweite Glied in der Klammer zwar wegen des Factors $\sin a$ stets wachsen würde, wegen des Factors $\sin 2a$ aber nicht nur für $a = 0$, den Werth Null hat, sondern auch für $a = 90°$ der Null gleich wird; so dass, wenn man dieses zweite Glied berücksichtigt, nicht die von Verdet angenommene einfache Cosinusfunction, sondern eine, von der Cosinusfunction bei $a = 0$ und $a = 90°$ gar nicht, zwischen diesen beiden Werthen aber dadurch von ihr verschiedene Function herauskommt, dass von den Werthen, welche nach Verdet's Gesetz zu erwarten wären, noch etwas abgezogen werden muss, um auf die wahren Werthe zu kommen. Die gefundenen Grössen der Drehung müssen also, verglichen mit den, aus Verdet's Gesetz berechneten, von $a = 0$ bei wachsendem a zu klein werden; und erst wenn a sich 90° nähert, wieder mit dem Cosinusgesetz übereinzustimmen beginnen.

Betrachten wir nun die, von Verdet durch Messung gefundenen Werthe. Verdet selbst hat sie mit den, von dem Cosinusgesetz geforderten verglichen, indem er, nebst dem Winkel der Drehung der Polarisationsebene, bei jeder Position den Quotienten aus diesem Werthe, dividirt durch den Cosinus des Positionswinkels angibt. Seine eine Versuchsreihe, bei welcher das Licht durch eine 44 mm dicke Schichte Schwefelkohlenstoff ging, lautet:[1])

a	Drehung			$\frac{\text{Drehung}}{\cos a}$
0°	5°	58′	0″	358 · 0
15	5	45	45	357 · 25
30	5	7	45	355 · 25
45	4	9	0	352 · 0
60	2	58	45	357 · 50

Man sieht, dass der Gang der Abweichungen der Beobachtungen Verdet's von seinem Gesetze ganz der Voraussetung entspricht, dass in Gleichung 9) β einen von Null verschiedenen Werth hat, dass also die Wellenfläche nicht aus zwei Kugeln, sondern aus zwei Ellipsoiden besteht; wenn auch die Excentricität derselben nicht gross ist, so reicht sie offenbar aus dafür, dass

[1]) Verdet, Annales de Chim. et de Phys., l. c. pag. 43.

sich die, durch sie bedingten Unterschiede in der Beobachtung deutlich bemerkbar machen.

Auch die zweite von Verdet mitgetheilte Reihe von Messungen, welche an einer 40 mm dicken Schichte schweren Faraday'schen Glases angestellt wurden, entspricht dieser Voraussetzung. Sie lautet:[1])

$\alpha =$	0^0	15^0	30^0	45^0	60^0	75^0
$\frac{\text{Drehung}}{\cos\alpha} =$	535·75	527·25	531·25	537·50	537·50	539·00

Ich sage: sie entspricht der Voraussetzung, weil der Gang der Abweichungen mit dem, von unserer Function geforderten insoferne übereinstimmt, als die Werthe des Quotienten: $\frac{\text{Drehung}}{\cos\alpha}$ von einem, zwischen den Enden des Viertelkreisbogens gelegenen Punkte, an welchem dieser Werth ein Minimum ist, nach beiden Enden zu stetig wachsen.

Eine viel weiter gehende Uebereinstimmung ist wohl nicht zu erwarten, erstens wegen der nothwendigen Beobachtungsfehler, und dann auch, weil Verdet, wenn er schon aus seinen sämmtlichen Messungsreihen blos zwei zur Bestätigung seines Gesetzes mittheilt, gewiss diejenigen, welche am besten mit diesem Gesetze stimmen, gewählt haben wird. Besonders wenn man diesen Umstand berücksichtigt, wird man wohl nicht geneigt sein, die in beiden Beispielen hervortretende Uebereinstimmung der Abweichungen mit den von meiner Formel geforderten, für einen blossen Zufall, für das Resultat von Beobachtungsfehlern zu halten. Es wäre doch zu wunderbar, wenn die Beobachtungsfehler allesammt gerade in dem Sinne meiner Formel, und in solcher Regelmässigkeit ihr entsprechend, sich durch blossen Zufall eingefunden hätten.

Nach allem diesem glaube ich wohl sagen zu dürfen:

1. Dass die Lichtwellenoberfläche im magnetischen Felde sicher im Allgemeinen die von mir beschriebene Gestalt zweier einander schneidender Rotationsflächen hat,
2. dass diese beiden Flächen jedenfalls zwar nur äusserst wenig von der Kugelgestalt abweichen, dass aber dessen ungeachtet
3. die aus Verdet's Cosinus-Gesetz abzuleitende, und mit diesem Gesetz allen bisherigen theoretischen

[1]) L. c.

Forschungen unbewusst zu Grunde gelegte Kugelgestalt beider Theile der Doppelfläche wahrscheinlich nur eine erste Annäherung an die wirkliche Gestalt ist, und

4. dass die Gestalt der Lichtwellenoberfläche im magnetischen Felde eine aus zwei Rotationsellipsoiden, die in der Richtung ihrer grossen Axe so gegeneinander verschoben sind, dass sie grösstentheils ineinander liegen, bestehende Doppelfläche ist.

Ueber die Graduirung elektrischer Inductions-Apparate.

(Aus dem LXXII Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. III. Abth. Juni-Heft. Jahrgang. 1875.)

(Vorgelegt in der Sitzung vom 15. Juli 1875.)

In den „Untersuchungen aus dem physiologischen Laboratorium der Züricher Hochschule“[1]) und in A. B. Meyer's Inauguraldissertation: „Beiträge zur Lehre von der elektrischen Nervenreizung“[2]) findet sich die Beschreibung einer von Fick herrührenden Methode zur Graduirung von Schlitten-Inductions-Apparaten. Nach dieser Methode gewinnt man den Werth der secundären Stromesschwankung als Function der Entfernung der primären von der secundären Spirale, indem man die Ausschläge registrirt, welche der Magnet einer Spiegelboussole macht, die in Verbindung mit den Polen der secundären Spirale ist, wenn man den Abstand dieser Spirale von einer primären Spirale von Fall zu Fall ändert und jedesmal einen Strom von derselben Intensität in der primären Spirale schliesst oder öffnet. Abgesehen von einem principiellen Bedenken, welches man vielleicht gegen die Brauchbarkeit einer auf diese Weise gewonnenen Scala für physiologische Zwecke erheben könnte, leidet sie an einer gewissen Schwierigkeit in der Ausführung. Die Intensitäten der inducirten Ströme ändern sich nämlich in einer bestimmten Gegend der Function so rasch mit den Rollenabständen, dass man genöthigt ist, eine Aenderung in dem Grade der Astasie des Magnetes vorzunehmen, um wieder brauchbare Ausschläge zu bekommen. Diese Schwierigkeit hat H. Kronecker durch ein sehr sinnreiches Verfahren umgangen, welches er in seiner Untersuchung „Ueber die Ermüdung und Erholung der quergestreiften Muskeln“[3]) (pag. 699 Anm.) beschrieben hat. Es besteht in der Zuhilfenahme eines zweiten

---

[1]) Wien 1869.

[2]) Zürich, 1867.

[3]) Leipzig, Berichte d. sächs. Ges. d. Wissensch.

Inductions-Apparates, dessen primäre Spirale von demselben Strome durchflossen wird, welcher auch die primäre Spirale des ersten Apparates durchfliesst, aber in entgegengesetzter Richtung.

Das oben erwähnte principielle Bedenken bestand in folgender Erwägung. Die Fick'sche, sowie die von Kronecker modificirte Methode giebt für die verschiedenen Rollenabstände Werthe, welche praemissis praemittendis proportional sind den Integralen der entsprechenden secundären Stromesschwankungen. Im Allgemeinen giebt aber der Integralwerth einer Stromesschwankung kein Mass ab für seinen physiologischen Effect und die nach Fick gewonnene Scala ist nur dann eine Scala der Nervenreize, als welche sie doch dienen soll, wenn bei Veränderung des Abstandes der beiden Spiralen sich nur der Integralwerth nicht aber auch die Form der Stromschwankungscurven ändert.

Ich will nun in Folgendem eine physiologische Methode der Schlittengraduirung beschreiben, welche von diesem Bedenken frei ist und die ausserdem noch den Vortheil bietet, dass zu ihrer Ausführung keine Boussole nothwendig ist.

Man richtet ein Muskelnervenpräparat in der Weise her, dass man den Unterschenkel und die Pfote eines kräftigen Sommerfrosches intact und mit Haut bekleidet lässt und den *Nervus ischiadicus* frei präparirt und dicht an der Wirbelsäule abschneidet. Der Nerv wird dann ganz unten, dicht am Muskel über ein unpolarisirbares Elektrodenpaar gebrückt und das Ganze in einer feuchten Kammer untergebracht. Eine derartige Disposition der Reizelektroden ist eine unerlässliche Bedingung für das Constantbleiben der Reizbarkeit, wegen des bekannten Einflusses der Nähe eines Querschnittes auf die Erregbarkeit eines Nerven. Die Elektroden werden mit den Polen der secundären Spirale verbunden und die Pole einer constanten Kette mit den Enden der primären Spirale. In den primären Kreis kommt ausserdem noch ein unpolarisirbares Flüssigkeitsrheostat (welches auch in eine Nebenschliessung gestellt werden könnte) und ein Schlüssel, der eine vollkommen gleichartige Schliessung verbürgt (in meinen Versuchen ein nach dem Princip des Pflüger-schen Hammers construirter Fallapparat). Je mehr die Widerstände der metallischen und Kettentheile des primären Kreises gegen die Widerstände der Flüssigkeitsrheostaten verschwinden, desto genauer fallen die Bestimmungen aus. In meinen Versuchen haben sich die aus der Vernachlässigung jener Widerstände entspringenden Fehler durch eine directe Bestimmung der Widerstände und der Werthe des Rheostaten als weit unter der Grenze der Versuchsfehler liegend,

herausgestellt. Gearbeitet wird nun so, dass man für jede Stellung der secundären Spirale allmählig durch Verstellen des Rheostaten die Stärke des primären Stromes so weit steigert, bis zuerst eine minimale Zuckung des Froschschenkels eintritt, wenn der primäre Kreis geschlossen wird. Die Oeffnungs-Inductionsschläge werden vom Präparat abgeblendet. Man bekommt so zwei Reihen: Eine Reihe von Rollenabständen und eine Reihe von Rheostatabständen, id est von Intensitäten des primären Stromes.

Alle Paare zusammengehöriger Glieder dieser beiden Reihen sind unter einander physiologisch gleichwerthig.

Bei a, b, c-facher Entfernung der beiden Spiralen von einander findet man m, n, o-fache Stromstärken in der primären Spirale für nothwendig, um denselben Effect zu erzielen, folglich hätten bei gleichbleibender Intensität des primären Stromes die entsprechenden Effecte die Werthe gehabt: $\frac{1}{m}, \frac{1}{n}, \frac{1}{o}$. Man kann nun ohne Weiters die Distanzen der Spirale als Abscissen, die reciproken Werthe der Stromstärken des primären Stromes (also die Widerstände) als Ordinaten auftragen und bekommt auf diese Weise eine Curve. Diese Curve hat für jedes einzelne Präparat eine merkwürdige Constanz. Wenn man z. B. zu graduiren angefangen hat bei übereinandergeschobenen Rollen und äusserst schwachen primären Strömen und zuletzt zu den grössten Rollendistanzen und sehr starken primären Strömen gekommen ist, so kann man sofort umkehren, und den ganzen Weg nun in verkehrter Richtung zurücklegen. Es ist erstaunlich, wie genau man hierbei wieder zu denselben Resultaten kommt, wie nahe also die beiden auf diese Weise gewonnenen Curven zusammenfallen.

Aber auch die an verschiedenen Nervenpräparaten gewonnenen Curven sind einander und der nach dem Fick'schen Verfahren construirten Curve für denselben Inductions-Apparat im Wesentlichen so ähnlich, dass man jenes im Anfang dieses Aufsatzes hingestellte theoretische Bedenken gegen die physiologische Anwendbarkeit der Fick'schen Curve als durch Erfahrung erledigt betrachten darf.

Wie alle diese Curven lehren, nimmt die Intensität der secundären Ströme, sowohl wenn die beiden Rollen ziemlich weit auseinanderstehen, als auch wenn sie sich theilweise decken, nahezu linear mit ihrer Entfernung von einander ab — im ersten Falle langsam, im zweiten sehr rasch. Diese beiden nahezu gradlinigen Schenkel der Curve gehen durch ein stark gekrümmtes Stück in einander

über, welches jener Stellung der beiden Rollen entspricht, bei welcher sie eben anfangen übereinander zu greifen.

Die hier beschriebene Methode bietet ausserdem, dass sie die Uebertragbarkeit der Fick'schen Curve auf physiologische Fälle nachweist, die Möglichkeit einer Graduirung von Schlitten-Inductorien auch in solchen Anstalten, an welchen man nicht über Boussolen oder Dynamometer verfügt. Wo man solche zur Hand hat, wird man sich wohl immer der Fick'schen Graduirungsmethode, besonders in der Kronecker'schen Modification bedienen.

Eine neue Methode zur Bestimmung des inneren Widerstandes galvanischer Elemente.

(Aus dem LXXV. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. II. Abth. März-Heft. Jahrg. 1877. Vorgelegt in der Sitzung am 1. März 1876.)

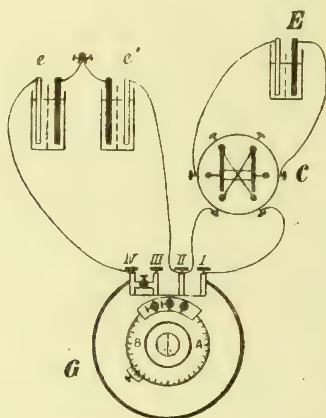
(Mit 1 Holzschnitt.)

Ich verwende seit Jahren eine Methode zur Bestimmung des inneren Widerstandes von Ketten, die so einfach ist, dass ich gar nicht daran zweifelte, dass sie sich Jedermann von selbst darbietet und demnach allgemein bekannt ist. Nun findet sich aber von dieser Methode nirgends eine Erwähnung[1]) und dieser Umstand mag die Publication des von mir verwendeten, so einfachen Kunstgriffes rechtfertigen.

Dieser besteht in Folgendem: Es werden zwei von jenen Elementen, deren innerer Widerstand bestimmt werden soll *(e, e')* in ganz gleicher Weise hergerichtet, mit Flüssigkeiten aus denselben Flaschen gefüllt, und dann so verbunden, dass zwei gleichnamige Pole in unmittelbaren Contact kommen, während die beiden anderen gleichnamigen Pole mit den entsprechenden Punkten einer Wheatstone'schen Brücke, also z. B. mit den Klemmen II und IV des Universalgalvanometers von W. Siemens (G) verbunden werden; und nun wird der Widerstand dieser stromlosen Combination wie der irgend eines anderen Leiters gemessen; natürlich mit der Vorsicht, dass man den Strom, dessen Intensität im Brückendraht auf Null gebracht werden soll, also den messenden Strom (E) immer nur auf Momente geschlossen hält, um keine Polarisation in der zu messenden Kette zu Stande kommen zu lassen. Ich schalte, um über diesen Umstand völlig beruhigt zu sein und zugleich alle anderen Einwände zu beseitigen, welche aus einem Zweifel an der

[1]) Während des Druckes dieser Notiz erfahre ich, dass eine der hier zu beschreibenden ähnliche Methode in der neuesten Gebrauchsanweisung zum Universalgalvanometer enthalten ist.

völligen Inactivität der zu messenden Combination herrühren könnten, in die Bahn des messenden Stromes einen Commutator (*c*) ein. Durch Umlegen dieses Commutators verkehrt man die Richtung des messenden Stromes, sobald die Nadel des Multiplicators durch ihr Einstehen auf dem Nullpunkte die Stromlosigkeit der Brücke anzeigt. Nur wenn die Nadel nicht auf die Umkehrung des Stromes reagiert, ist die Messung als fehlerfrei anzusehen. Bei einiger Sorgfalt im Zusammenstellen der zu messenden Kette und bei Anwendung möglichst schwacher messender Ströme wird man diese Bedingung für die Brauchbarkeit der gemachten Ablesung regelmässig eintreten sehen.



Diese Methode steht an Genauigkeit hinter den bekannten Methoden von Ohm, Wheatstone, Waltenhofen und Beetz[1]) nicht zurück, hat aber vor ihnen, wie ich glaube, durch ihre Einfachheit und Directheit etwas voraus.

[1]) C. F. Wiedemann, d. Lehre v. Galvanismus etc. 2. Aufl. §§. 180 ff.

Ueber die Construction und die Eigenschaften des Capillarelektrometers[1]).

(Aus dem Repertorium der Physik, Bd. XIX, Seite 660.)

(Mit 2 Fig.)

In dem von Lippmann vor einigen Jahren, auf Grund eines — so viel ich weiss— von Erman im Beginn dieses Jahrhunderts zuerst bemerkten Principes, erfundenen Capillarelektrometer ist ein Instrument gegeben, das elektrische Veränderungen mit fast verschwindender Verzögerung anzeigt.

Ich habe mich also seit längerer Zeit mit dem Studium der Eigenschaften dieses schönen Instrumentes beschäftigt und einige, so viel ich weiss, noch nicht beschriebene Beobachtungen an demselben gemacht.

Auch schien mir manches an der Construction des Instrumentes wesentlicher Verbesserung fähig, ja bedürftig; und im Verlaufe meiner Erfahrungen gelangte ich endlich zur Annahme des im folgenden beschriebenen Modelles, welches ich den Herrn Mechanikern Meyer und Wolf[2]) zur Ausführung überlassen habe.

Aus einer dicken kreisrunden Eisenplatte, die auf drei Stellschrauben steht, erheben sich zwei Säulen, von denen die eine das Elektrometer, die andere das Beobachtungsmikroskop trägt. Letzteres ist auf folgende Arten beweglich aufgestellt. Durch Lockerung der Schraube *a* erhält der wie ein Fernrohrauszug eingerichtete obere Theil der Säule seine Beweglichkeit. Hierdurch kann das Mikroskop in verticaler Richtung um beträchtliche Strecken gehoben oder gesenkt werden. Der Zweck dieser „groben“ Einstellung ist, das Mikroskop ungefähr in eine dem unteren Ende der Capillare ent-

---

[1]) Nach einer in du Bois-Reymond's Archiv für Physiologie zuerst abgedruckten Abhandlung vom Herrn Verfasser mit Zusätzen mitgetheilt.

[2]) Wien, Van Swieten-Gasse.

sprechende Höhe zu bringen. Die feine Einstellung in verticaler Richtung geschieht durch Drehen an der Kreisscheibe *A*, welche auf ihrer oberen versilberten Fläche am Rande eine Eintheilung in 100 Theile trägt, die beim Drehen an der Spitze eines kleinen Index, der in der Zeichnung erkennbar ist, sich vorüberbewegt.

Die Verschiebung des Mikroskopes parallel mit sich selbst in der Horizontalebene wird durch Drehen der Schraube *B* bewerkstelligt. Wie sich aus dem folgenden ergiebt, sind in dieser Richtung niemals grosse Verschiebungen nöthig, weshalb auch auf die Anbringung einer groben Einstellung verzichtet wurde.

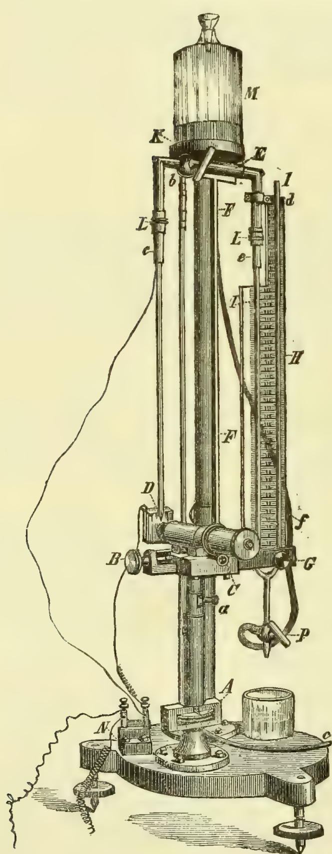


Fig. 1.

Die dritte Bewegung des Mikroskopes, die längs seiner Achse, ist hingegen wieder mittels grober und feiner Einstellung möglich. Zur feinen Einstellung dient die Schraube *C*, die grobe Einstellung wird durch Verschiebung des Tubus in der Hülse aus freier Hand besorgt. Das Ocular des Mikroskopes ist ein Messocular, d. h. es trägt in der Ebene seines Diaphragmas eine in Glas geritzte Theilung, welche beim Gebrauche vertical zu stellen ist.

Die andere Säule besteht aus einem genau cylindrisch abgedrehten Messingrohre von 26 mm äusserem Durchmesser und trägt drei verstellbare Hülsen (von denen in der perspectivischen Zeichnung bloss ein Theil der mittleren sichtbar ist) und oben eine Tasse mit Rand zur Aufnahme einer Flasche. Die Hülsen sind der Länge nach aufgeschnitten und an den Schnittflächen Flanschen angebracht, welche von Schrauben durchbohrt sind, so dass durch Anziehen der Schrauben die Hülsen fest um die Säule gepresst werden, ohne letztere zu beschädigen.

Von der in der Zeichnung theilweise sichtbaren mittleren Hülse geht ein Arm zuerst nach unten, dann nach der Seite, welcher an

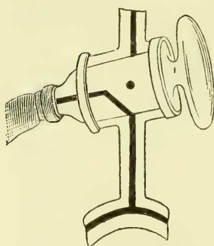
seinem freien Ende eine runde Tasse mit niedrigem Rande trägt. Diese Tasse dient zur Aufnahme des Gefässes *D*. Sie wird angewärmt, mit leicht schmelzendem Kitt gefüllt und dann das Gefäss in passender Stellung hineingesetzt. Das Gefäss wird so hergestellt, dass von einer im Querschnitt viereckigen Flasche der obere nicht prismatische Theil abgeschnitten wird, dann von den oberen Rändern zweier einander gegenüber liegender Flächen des unteren Theiles her tiefe, breite Fenster aus diesen Flächen herausgeschliffen werden, welche Fensteröffnungen dann, die eine mit einem Stücke eines Objectträgers, die andere mit einem grossen Deckglase, wie es zum Bedecken mikroskopischer Präparate dient, verschlossen werden. Diese beiden Stücke werden von aussen her auf die Ränder der Fenster aufgekittet.

An der obersten Hülse ist das massive Querstück *E* befestigt, an der untersten Hülse ein ähnliches; und diese beiden Querstücke sind durch den vierkantigen starken Metallstab *F* starr mit einander verbunden, so dass sie ein System bilden, welches nur als Ganzes längs der Säule verschoben werden kann. — Das mit der untersten Hülse verbundene Querstück ist nur nach einer Seite in einen Arm verlängert, welcher an seinem äusseren Ende in zwei parallele Backen übergeht, deren Entfernung von einander durch die Schraube *G* regulirt wird. Diese an ihren Innenflächen mit Sammt beklebten Backen fassen fest zwischen sich und tragen das untere Ende der getheilten Glastafel *H* und den unteren Theil des Manometers *II'*.

Das mit der obersten Hülse verbundene Stück trägt ein fingerdickes horizontales Messingrohr mit einer Bohrung von 1 mm Durchmesser; an beiden Enden ist dieses Rohr rechtwinklig nach abwärts gebogen. In seinem horizontalen Theile trägt das Rohr den kurzen nach unten gerichteten Ansatz *b* und an der Abzweigungsstelle dieses Ansatzes den Hahn *K*. Dieser Hahn, welcher luftdicht eingeschliffen ist, wird von einer ganzen und von einer auf diese senkrechten halben Bohrung durchsetzt, so dass er gestattet, entweder die beiden Hälften des horizontalen Rohres mit einander zu verbinden und gegen den Seitenansatz *b* abzuschliessen, oder die eine oder die andere der beiden Hälften des horizontalen Rohres mit dem Ansatz *b* zu verbinden und gegen die andere Hälfte abzuschliessen. Der Ansatz *b* wird durch ein kurzes Stück dickwandigen Kautschukrohres mit einem Glasrohre verbunden, welches man in der Figur bis nahe auf die Grundplatte herabreichen sieht; mit dem unteren Ende dieses Rohres wird dann im entsprechenden Falle ein Druckapparat mittels eines anderen Stückes Kautschukschlauch (*c*) verbunden.

Von dem einen absteigenden Schenkel des Messingrohres geht eine kleine Vorrichtung (*d*) seitlich ab zur Befestigung des oberen Endes der getheilten Glasplatte *H*. Die beiden unteren Enden der absteigenden Schenkel des Messingrohres sind ganz gleich gearbeitet. Sie sind zur luftdichten Verbindung mit Glasröhren bestimmt, die an ihren oberen Enden in Messinghülsen (*e*, *e*) eingekittet sind. Die auf einander passenden Enden des Rohres und der Hülsen sind so genau gearbeitet, dass, wenn zwischen sie ein gefettetes ringförmiges Lederplättchen gelegt ist und dann die Verschraubungen (*L*, *L*) fest angezogen werden, ein selbst bei hohem Drucke luftdichter Verschluss erreicht ist. Jedem Apparate werden mehrere solche Hülsen (*e*) beigegeben. In eine derselben ist das kürzere Ende des Manometers ein für alle Male eingekittet, die übrigen Hülsen dienen zur Aufnahme verschiedener Capillaren, deren man sich so mehrere aufbewahren kann und die ohne weitere Vorbereitung in jedem Moment am Apparate gegen einander vertauscht werden können.

Auf die Tasse oben auf der Säule wird eine Glasflasche gestellt, welche über ihrem Boden eine seitliche Tubulatur hat. Von dieser führt ein dickwandiger Kautschukschlauch herab, welcher mit seinem unteren Ende fest mit dem hohlen Fortsatz des Glasshahns *P* verbunden ist. Dieser Glashahn (Fig. 2) befindet sich in dem verticalen Stück Glasrohr, welches an die tiefste Stelle des Manometers angeschmolzen ist und mit dem Manometer communicirt. Der Glashahn hat eine ganze Durchbohrung senkrecht auf seine Axe. Wenn diese Bohrung vertical gestellt wird, so läuft die Flüssigkeit aus dem Manometer in ein darunter stehendes Gefäss. Ferner hat der Hahn eine halbe Bohrung, welche aber nicht mit der oben besprochenen ganzen Bohrung communicirt, sondern in jene axiale Bohrung übergeht, mit welcher, wie oben bemerkt, der Kautschukschlauch *f* communicirt. Steht diese halbe Bohrung nach oben, so tritt die Flüssigkeit aus der Flasche *M* in das Manometer. In dieser Stellung ist der Hahn in Fig. 2 gezeichnet.


Fig. 2.

Auf der eisernen Grundplatte ist ferner noch die Ebonitplatte *N* aufgeschraubt, welche zwei von einander isolirte, mit je zwei Schraubenklemmen versehene Messingklötze trägt.

Für die Zusammenstellung des Instruments zum Gebrauch ist nun folgendes nöthig. In eine der beigegebenen Hülsen *e* wird mittels Siegellack ein Glasrohr fest eingekittet. Entweder ist irgendwo

unterhalb der Hülse in dieses Glasrohr ein dünner Platindraht so eingeschmolzen, dass sein eines Ende frei in das Lumen des Rohrs hineinragt, oder es wird derselbe Zweck dadurch erreicht, dass man den Draht in der isolirenden Kittmasse zwischen Hülse und Glaswand hinaufgehen lässt und ihn um den oberen Rand des Rohrs herum in dessen Lichtung hineinbiegt. Dieses Rohr wird in einer Entfernung von ca. 300 mm vom oberen Ende in eine feine Capillare ausgezogen, diese an ihrer engsten Stelle abgebrochen und nun das Ganze vorsichtig bis oben mit reinem Quecksilber angefüllt und nachgesehen, ob sich die Quecksilbermasse selbst durch die Spannung ihres unteren Meniscus trägt. Hat sich der Quecksilberfaden in dem capillaren Theil des Rohrs auf irgend einen Punkt eingestellt, so halte man das Rohr vertical, mit der Spitze nach unten, und mache dann mit dem ganzen Rohr, es in der Richtung seiner Axe verschiebend, eine jähe Bewegung nach aufwärts. Hierbei tritt leicht ein Tröpfchen Quecksilber aus der Spitze der Capillare aus, dieses Tröpfchen wächst langsam und fällt, wenn es etwa die Grösse eines Stecknadelkopfs erreicht hat, von selbst ab. Ist dies geschehen, so muss sich der Quecksilberfaden mit seinem Ende wieder von der Spitze der Capillare zurückziehen; dies ist ein sicheres Zeichen für die Brauchbarkeit der Capillare. Ich rathe jedermann, sich mit der Behebung von Schwierigkeiten, welche sich beim Anfüllen oder Prüfen einer Capillare herausstellen, nie lange aufzuhalten, sondern lieber das Quecksilber auszuleeren und eine frische Capillare auszuziehen. Das Ausziehen und Füllen der Capillare macht nämlich gar keine Umstände, lästig ist nur das Einkitten in die Hülse, welches aber sehr selten nothwendig wird. Ist das Rohr durch mehrmaliges Ausziehen von Capillaren um ein paar Centimeter verkürzt worden, so stellt man die passende Länge durch Ausziehen einer etwas höher gelegenen Stelle um den gewünschten Betrag leicht wieder her. Die fertige Capillare wird dann, indem ihr der Verschraubungsring *L* von unten her überschoben ist, mittels dieses Ringes fest mit dem Instrument verbunden. — Will man eine Capillare gegen eine andere vertauschen, die erste aber aufbewahren, so umwickle man das Rohr an einer Stelle fest mit mehreren Lagen Bindfaden, bilde so einen Wulst auf demselben, schiebe von der Spitze her einen durchbohrten Kork über das Rohr bis an den Wulst und verschliesse nun mit diesem das Rohr tragenden Kork eine mit angesäuertem Wasser gefüllte Flasche. Die Capillare austrocknen zu lassen, ist nicht rathsam. Liegt einem daran, sich eine unverwüstliche Capillare zu verschaffen, so kann ich immerhin folgende allerdings

etwas zeitraubende Procedur empfehlen. Ein dickwandiges Glasrohr (ein Barometerrohr) lässt man, nachdem es im übrigen nach den oben gemachten Angaben behandelt ist, vor der Flamme an einer Stelle zusammenlaufen, so dass eine dicke Glasmasse einen sehr dünnen Kanal umgiebt. In dem Moment, wo dieser Kanal an der heissesten Stelle sich ganz zu verschliessen beginnt, entfernt man das Rohr aus der Flamme und bringt unmittelbar ehe das Glas seine Plasticität verliert, einen leisen axialen Zug an dem Rohre an, durch welchen eine correctere Kegelgestalt des Lumens erzielt wird. Unmittelbar über der Verschlussstelle wird nun das Rohr abgeschnitten (es kann an diesem Querschnitt leicht 3 mm Durchmesser haben), so dass die Capillare unten offen ist. Soll das Ganze auch zu feineren Beobachtungen dienen, so muss eine Facette angeschliffen werden, damit starke Vergrösserungen anwendbar und Verzerrungen des Bildes der Quecksilberkuppe vermieden werden. Es ist vielleicht nicht überflüssig, auch über diese Procedur einige Worte zu sagen. Für diesen Zweck ist es besser, zunächst das Rohr so abzuschneiden, dass die Capillare nicht eröffnet wird, damit nichts vom Schleifmittel in sie eindringe. Dann wird mit Schmiergel am Rand einer dicken Glasplatte dem ausgezogenen Theil des Rohres eine seiner Axe parallele Fläche angeschliffen und hierbei so viel Glas weggenommen, dass der Kanal nur etwa $^1/_2$ mm unter der Facette liegt. Die Facette muss nun noch polirt werden. Man spannt ein Stück Holz von mehreren Zollen Länge in die Drehbank, dreht daraus einen Cylinder von ca. 1 Zoll Durchmesser, bestreicht seine befeuchtete Mantelfläche mit gut geschlämmtem Colcothar und, während man den Cylinder rasch sich drehen lässt, führt man unter entsprechendem Druck die zu polirende Fläche auf ihm hin und her, bis die Facette ganz hell polirt ist. Sehr abgekürzt wird dieser lästigste Act der ganzen Procedur dadurch, dass man zuletzt auf der Glasplatte, ehe man zu poliren anfängt, mit möglichst feinem Schmirgel schleift. Ist alles dies beendigt, dann schneidet man noch so viel ab, dass die Capillare eröffnet wird. Der Querschnitt sieht dann so aus: ⊙. Nun wird das Rohr mit Quecksilber gefüllt und überhaupt damit nach den obigen Vorschriften weiter verfahren. Es ist allerdings langweilig, sich eine solche Capillare zu machen, doch stellt sie einen werthvollen Besitz dar, dessen Anschaffung ich wenigstens nicht bereut habe.

Ist nun eine brauchbare Röhre gewonnen und angefüllt, so wird ihr von unten her der Verschraubungsring L übergeschoben und nun das Rohr fest mit dem Gestelle verbunden, so wie auf der anderen Seite das Manometerrohr. Dann füllt man das Gefäss D, indem

man erst etwa 12 mm hoch Quecksilber und auf dieses dann bis zum Rand stark verdünnte Schwefelsäure hineingiesst. Dann wird das Gefäss durch zweckmässige Verschiebung der mittleren Hülse auf der Standsäule gehoben, bis die Capillare in dasselbe eintaucht und mit ihrer offenen Spitze in der Schwefelsäure endigt. Auch wird Sorge dafür getragen, dass die Capillare von innen dem Deckgläschen anliegt.

Zwischen der Flüssigkeit im Gefässe und dem unteren Ende des Quecksilberfadens in der Capillare befindet sich jetzt noch ein Luftfaden, welcher den untersten Theil des Rohrs erfüllt. Um ihn zu entfernen, wird der Hahn *K* mit seinen Flügeln vertical, mit der Marke nach links gestellt; mit dem Ende des Kautschukschlauchs *c* ein Druckapparat, eine Compressionspumpe, eine Spritze u. dgl. verbunden, und nun auf das Quecksilber im Rohr ein solcher Druck ausgeübt, dass ein Tröpfchen aus der Spitze der Capillare austritt. Nun lässt man mit dem Drucke nach, der Quecksilberfaden zieht sich zurück und zieht nach sich einen Flüssigkeitsfaden in das Rohr hinein. Der Platindraht, welcher in das im Rohr befindliche Quecksilber eintaucht, wird mit dem einen Messingklotz auf *N* verbunden; von dem anderen Klotz auf *N* geht ein Draht aus, welcher an seinem anderen Ende, mit Ausnahme der Spitze, mit Siegellack überzogen ist. Dieses andere Ende taucht durch die verdünnte Schwefelsäure im Gefäss *D* bis auf dessen Boden ein, stellt also eine leitende Verbindung des Quecksilbers im Gefäss *D* mit dem zweiten Klotz her. Die beiden Klötze werden dann mittels der beiden übrigen Klemmschrauben weiter an die beiden Backen eines du Bois-Reymond'schen Schlüssels verbunden — und nun ist das Instrument zum Gebrauch fertig.

Zunächst muss man nun den Betrag einer elektromotorischen Einheit, also z. B. des Stroms eines Daniell'schen Elements am Instrumente feststellen. Ein Daniell'sches Element wird hierfür so mit dem du Bois-Reymond'schen Schlüssel verbunden, dass nach Entfernung des Vorreibers der Strom vom Kupfer in das Quecksilber des Gefässes *D*, aus diesem in das Quecksilber der Capillare und von da zum Zink der Kette geht. In dieser Richtung muss jeder Strom, den man messen will, durch das Instrument gehen. Einstweilen circulirt aber noch gar kein Strom im Instrument, denn der Vorreiber des Schlüssels blendet denselben ab. Jetzt stellt man das Mikroskop unter Benützung einer mässigen Vergrösserung auf den Quecksilbermeniscus ein, so etwa, dass der mittelste Theilstrich der Ocularscala denselben tangirt. Vorher schon hat man aus der Flasche

M etwas Quecksilber in das Manometer treten und durch Benutzung des Hahns *K* dasselbe in beiden Schenkeln gleich hoch sich stellen lassen. Dann hat man den Hahn *K* mit den Flügeln horizontal und mit der Marke nach oben gestellt und nun öffnet man dem Strom den Weg durch das Instrument. Augenblicklich verschwindet der Quecksilberfaden aus dem Gesichtsfelde des Mikroskops, indem er sich (im umgekehrten Bild) nach unten zurückzieht. Während man nun das Auge am Mikroskop behält, dreht man langsam den Hahn *P* so weit, dass Quecksilber aus der Flasche *M* in das Manometer nachzufliessen anfängt. Nach kurzer Zeit erscheint der Quecksilberfaden wieder im Gesichtsfeld und in dem Moment, in welchem er mit seinem Meniscus den mittleren Theilstrich der Ocularscala tangirt, versperrt man dem Quecksilber den weiteren Zufluss zum Manometer durch eine leichte Drehung des Hahns *P*. Dann liest man die Niveaudifferenz des Quecksilbers in den beiden Schenkeln des Manometers ab und kennt nun den Druck, welcher unter den gegebenen Verhältnissen der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Elements das Gleichgewicht hält. Für jede neue Capillare ist diese Bestimmung von neuem auszuführen. — Will man nun das Instrument für eine zweite Messung herrichten, so lässt man erst das noch von der früheren Messung im Manometer befindliche Quecksilber aus dem Manometer in das darunter stehende Gefäss ausfliessen, bis die Niveaus in beiden Schenkeln gleich hoch stehen, und blendet dann den gemessenen Strom vom Instrumente ab. Man soll nicht in umgekehrter Ordnung verfahren, weil sonst möglicherweise infolge des Druckes das Quecksilber aus der Spitze der Capillare austreten könnte. Auch ist es nothwendig, einen du Bois-Reymond'schen Schlüssel und keinen anderen anzuwenden, denn der Ausschlag des Instruments fällt nur dann rasch und sicher auf Null zurück, wenn dasselbe in sich zum Kreise geschlossen wird; sind die beiden Quecksilbermassen des Instruments von einander isolirt, nachdem der Strom aufgehört hat zu wirken, so findet nur sehr allmählich eine Einstellung auf den Nullpunkt statt, die eben darum auch nicht sehr genau ist, denn der Nullpunkt selbst wechselt binnen eines längeren Zeitraums (eine Stunde und darüber) seine Lage, indem diese z. B. für Temperaturschwankungen ziemlich empfindlich ist.

Da bei einer elektromotorischen Kraft von etwas über 1 Daniell bereits Ausscheidung von Gas an der Grenze von Quecksilber und angesäuertem Wasser stattfindet, so kann das Instrument zur Messung grösserer elektromotorischer Kräfte nicht angewendet werden. Unter diesen Verhältnissen wäre es möglich gewesen das Manometer be-

trächtlich kürzer zu machen, da die messende Quecksilbersäule nicht 150 mm zu überschreiten braucht. Doch habe ich mich dafür entschieden, ihm eine grössere Länge zu geben, welche gestattet, die elektromotorischen Kräfte der von Muskeln oder Nerven herrührenden Ströme durch Wasserdruck zu messen. Hierdurch wird natürlich eine beträchtlich grössere Genauigkeit der Messung ermöglicht. An der Capillare, mit welcher ich jetzt schon seit einigen Monaten arbeite, entspricht, wenn man mit Wasser misst, eine Niveaudifferenz von 1 mm einer elektromotorischen Kraft von $^1/_{1533}$ Daniell. Wenn man längere Zeit nicht mit dem Instrument gearbeitet hat und will es dann wieder in Gebrauch ziehen, so empfiehlt es sich, vorher mehrere grössere Ausschläge hervorzurufen, etwa indem man die Marke des Hahns K nach links stellt und dann mit dem Mund abwechselnd Luft in den Schlauch c hineinpresst und aus ihm heraussaugt; noch besser ist es, einen so starken Druck anzuwenden, dass ein Tröpfchen aus der Spitze der Capillare herausfällt. Diese Vorsichtsmaassregeln dienen dazu, Fehler auszuschliessen, die von Beziehungen herrühren, welche sich bei längerer Ruhe zwischen dem Quecksilber, besonders seinem Meniscus und der Glaswand der Capillare auszubilden scheinen. Ueberhaupt sollte man sich jedesmal, wenn man das Instrument in Gebrauch ziehen will, vorher davon überzeugen, dass es sich nach erfolgtem Ausschlag ordentlich wieder auf Null einstellt. Ist alles in gutem Stand, so wird man über die grosse Genauigkeit erstaunt sein, mit welcher die Einstellung auf den Nullpunkt erfolgt.

Davon, dass die elektromotorische Kraft und keine andere Dimension des Stromes gemessen wird, kann man sich leicht durch zwei auf einander folgende Messungen des Stromes einer und derselben Quelle bei verschiedenen Leitungswiderständen überzeugen. Ich schalte hier eine Bemerkung ein, welche meines Wissens bisher noch nicht gemacht wurde.

Obwohl nämlich, wie gesagt, die elektromotorische Kraft von dem Instrument gemessen wird, so ist doch die Intensität des Stroms nicht ganz ohne Einfluss auf die Veränderungen, die am Stande des Meniscus vor sich gehen. Von ihr hängt nämlich die Geschwindigkeit ab, mit welcher diese Veränderungen sich vollziehen. Ich habe das Gesetz dieser Abhängigkeit nicht genauer erforscht, da die exacte Messung der Zeit hierbei einige Schwierigkeit darbieten dürfte. Die Einschaltung eines Widerstands, wie ihn etwa ein Froschnerv darbietet, bedingt eine kaum merkliche Verzögerung.

Sehr beträchtlich war aber die Verringerung der Geschwindigkeit, mit der sich der Meniscus bewegte, bei Einschaltung von $^3/_4$ Millionen S. E. Die Höhe der compensirenden Flüssigkeitssäule ist jedoch dieselbe bei Einschaltung grosser und kleiner Widerstände.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die neue Einstellung erreicht wird, hängt natürlich auch (bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft des Stroms) von der Länge des Wegs ab, welchen der Meniscus zurückzulegen hat. Da bei Einwirkung eines Stroms ein bestimmter anderer Querschnitt der Capillare vom Meniscus aufgesucht wird, so ist der zurückzulegende Weg um so kleiner, je grösser der Kegelwinkel der Capillare ist. Derselbe Strom bedingt an einer stumpferen Capillare kleinere Ausschläge als an einer spitzeren. Will man also sehr kleine elektromotorische Kräfte durch möglichst grosse Ausschläge recht sichtbar machen, so muss man sich eine Capillare ausziehen von fast cylindrischer Gestalt mit möglichst langsamer Verjüngung nach der Spitze zu; eine vollkommen cylindrische Capillare hingegen ist absolut unbrauchbar. — Es gibt zwei Mittel, um den Ausschlag, welcher zur Beobachtung kommt, gross zu machen. Eines besteht, wie eben bemerkt, in der Anwendung einer Capillare von kleinem Kegelwinkel — das andere besteht in der Anwendung einer starken Vergrösserung am Mikroskop. Bis zu einer gewissen Grenze ist es gestattet, sich des erstgenannten Mittels zu bedienen, von da ab soll man nicht weiter gehen mit der Verkleinerung des Kegelwinkels, sondern jede weitere Vergrösserung durch stärkere Linsen am Mikroskop bewirken — es wird sonst die Einstellung auf den Nullpunkt ungenau, indem das Gleichgewicht der Quecksilbermasse an Stabilität verliert. Capillaren, an denen die durch die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes hervorgebrachte Verschiebung etwa 1 mm beträgt, sind für die meisten Zwecke die günstigsten.

Was nun die Grösse des Ausschlags am Capillarelektrometer betrifft, so geht aus dem Gesagten hervor, dass sie sehr von der Gestalt der Capillare abhängt, sie ist also zu einer Messung schon aus diesem Grund nicht geeignet. Ferner existirt selbst innerhalb ziemlich enger Grenzen kaum eine annähernde Proportionalität zwischen ihr und der Kraft; man kann nichts von ihr sagen, als dass sie eine stetige und gerade Function der elektromotorischen Kraft ist. (Die allergeringsten elektromotorischen Kräfte, welche keine deutliche Verschiebung des Meniscus mehr bewirken, zeigen sich oft noch durch eine Veränderung der Form des Meniscus an.) Eine besondere Beachtung verdient das Verhalten des Ausschlags

bei rasch auf einander folgenden, intermittirenden Strömen. Ist die Frequenz keine zu hohe, so zeigt sich jeder Strom für sich an. Bei steigender Frequenz gibt es eine Art von Tetanus. Der Meniscus zeigt noch immer die Periode der Ströme durch seine oscillirenden Bewegungen an, doch werden die Amplituden der Bewegung um so kleiner, je rascher die Ströme auf einander folgen und zugleich rückt die Gleichgewichtslage, um die der Meniscus oscillirt, mit steigender Frequenz der Ströme immer weiter vom Nullpunkt fort. Durch die rasche Bewegung des Quecksilberfadens, die übrigens als absolut gedämpft zu betrachten ist (man sieht nie ein Hinausschwingen über die Gleichgewichtslage), erscheint das freie Ende des Fadens verwaschen, als graue Fortsetzung des schwarzen Streifens, der den continuirlich von dem Bild des Quecksilbers erfüllten Theilen des Gesichtsfeldes entspricht. Man braucht aber nur eine stroboskopische Scheibe zwischen das Ocular und das Auge zu bringen und sie in Rotation von gehöriger Geschwindigkeit zu versetzen, um selbst bei ausserordentlich hoher Frequenz der Ströme an die Stelle des verwaschenen Endes des Fadens ein ganz scharfes sich bewegendes Bild der Kuppe treten zu sehen.

Obwohl nun die Geschwindigkeit, mit welcher der Meniscus den elektrischen Veränderungen eines Kreises folgt, sehr beträchtlich ist, so hat sie doch eine obere Grenze. Wie sich elektrische Vorgänge am Instrument anzeigen, deren Geschwindigkeit jene Grenze überschreitet, muss die Erfahrung lehren. Nun wird jene Grenze aber offenbar von denjenigen inducirten Strömen, welche ihre Entstehung der Schliessung und Oeffnung eines primären Kreises verdanken, überschritten. Die Beobachtung lehrt nun, dass solche Ströme auch noch durch Ausschläge des Meniscus angezeigt werden und dass diese Ausschläge im allgemeinen grösser sind, wenn die Ströme — gleiche Widerstände vorausgesetzt — stärker sind. Lässt man z. B. einzelne Schliessungsinductionsströme eines Schlitteninductoriums durch das Insrtument gehen, so entspricht jedesmal einem geringeren Rollenabstand ein grösserer Ausschlag. Lässt man aber bei einer bestimmten Stellung der Rollen gegen einander einmal einen Schliessungsinductionsschlag und dann — natürlich in derselben Richtung — einen Oeffnungsinductionsschlag durch das Instrument gehen, so wird sich der der Schliessung entsprechende Ausschlag merkwürdigerweise als der grössere zeigen. Lässt man nun eine Reihe rasch auf einander folgender Schliessungs- und Oeffnungsinductionsströme, wie sie der du Bois-Reymond'sche Apparat liefert, durch das Instrument gehen, so wird man eine Erscheinung

gewahr, welche wegen der Complicirtheit ihrer Erklärung leicht zu Missdeutungen Veranlassung geben kann.

Was man direct beobachtet ist folgendes: Jedenfalls bewegt sich der Meniscus gegen die Spitze der Capillare zu und oscillirt um eine mittlere Lage, welche der Spitze näher liegt als die Ruhelage des Meniscus im stromlosen Instrument. Sind die Schliessungsschläge von der Spitze der Capillare nach ihrem dicken Theil zu gerichtet und die Oeffnungsschläge umgekehrt, so ist die Verschiebung kleiner und die Oscillationen um die mittlere Lage sind grösser, als wenn die Ströme die umgekehrte Richtung haben.

Um dies zu verstehen muss man wissen, dass ein und derselbe Strom einen grösseren Ausschlag am Elektrometer hervorbringt, wenn er in diesem vom dicken Theil zur Spitze der Capillare geht und also den Meniscus gegen letztere zu schiebt, als wenn er die umgekehrte Richtung hat, so dass also eine rasche Aufeinanderfolge von gleichen und entgegengesetzten Strömen den Meniscus immer gegen die Spitze der Capillare zu verschiebt. Will man die gleichen und die entgegengesetzten Ströme mit Stössen vergleichen, welche einen Körper alternirend mit gleicher Stärke nach der einen und nach der entgegengesetzten Richtung fortzubewegen trachten, so muss man den Quecksilbermeniscus mit einem Körper vergleichen, der sich in einem Medium bewegt, welches seiner Bewegung in zwei entgegengesetzten Richtungen verschiedene Widerstände darbietet. Von diesem Standpunkt ist wohl auch die Angabe eines englischen Physikers verständlich[1]), dass die in einem angesprochenen Telephon erregten Wechselströme den Meniscus eines Lippmann'schen Capillarelektrometers immer in einer Richtung verschieben. — Nur wenn die auf dem Meniscus lastende Quecksilbersäule sehr niedrig

[1]) F. J. M. Page in Nature vol. 17 p. 283, 284. Daselbst wird auch eine Vermuthung des Dr. Burdon-Sanderson erwähnt, nach welcher sich der beobachtete Effect aus der verschiedenen Geschwindigkeit der Bewegung des Meniscus in beiden Richtungen erklärt; auch die Thatsache, dass die Wechselströme eines du Bois-Reymond'schen Inductoriums den Meniscus immer gegen die Spitze zu bewegen, wird erwähnt und als Beweis (?) für die vorgebrachte Erklärung angeführt. Es ist gewiss sehr schwer, die Geschwindigkeiten, mit denen sich der Meniscus in verschiedenen Fällen bewegt, zu messen, während die Thatsache, welche Hrn. Page und auch Hrn. Burdon-Sanderson unbekannt geblieben ist, dass gleiche Ströme sehr verschieden starke Aussschläge nach beiden Richtungen bedingen, sich sehr leicht experimentell constatiren lässt; so z. B. gab mir der äusserst constante Strom eines schwachen Thermoelementes einen Ausschlag von 14 Theilstrichen der Ocularscala in der Richtung gegen die Spitze und einen Ausschlag von 7,2 Theilstrichen in der entgegengesetzten Richtung.

ist, dieser also sich auf einen relativ grossen Querschnitt der Capillare einstellt, tritt gelegentlich der Unterschied, den die beiden verschiedenen Richtungen in die Grösse des Ausschlags einführen, zurück gegen den Unterschied zwischen der Wirkung von Schliessungs- und Oeffnungsinductionsströmen, so dass dann eine Reihe rasch auf einander folgender Wechselströme eines Inductionsapparats den Meniscus in einer Richtung und nach Umkehrung des primären Stroms in der entgegengesetzten Richtung verschiebt — immerhin ist die Verschiebung gegen die Spitze der Capillare die beträchtlichere. Auf die Untersuchung der Ursache, wegen welcher die Schliessungsinductionsströme stärker wirken als die Oeffnungsinductionsströme, obwohl das Maximum der elektromotorischen Kraft bei letzteren höher ist als bei ersteren, habe ich mich nicht weiter eingelassen: so viel scheint klar, dass die zeitlichen Verhältnisse hierbei eine Rolle spielen; vom Zeitintegral direct kann aber die Grösse des Ausschlages nicht abhängen, sonst müsste dieser für beide Arten von Strömen gleich sein, wenn man dafür Sorge trägt, dass er beide Male nach derselben Richtung erfolgt; vielleicht nimmt sich ein Physiker der, wie ich glaube, nicht undankbaren Aufgabe an, diese Verhältnisse genauer zu erforschen.

Wenn einem Leiter eine elektrische Masse genähert wird, so findet im Leiter eine Vertheilung statt. Während dieses Vorgangs ist der Leiter als von einem Strom, dem Vertheilungsstrom, durchflossen anzusehen. Wie natürlich, werden auch diese Vertheilungsströme vom Capillarelektrometer angezeigt und es eignet sich dieses Instrument also auch zum Studium gewisser Erscheinungen der statischen Elektricität.

Hierbei kann das Instrument entweder isolirt sein oder man kann dessen einen Pol zur Erde ableiten. Den anderen Pol verbindet man zweckmässig durch eine Drahtleitung mit einer kleinen Metallkugel, welche sich etwa um 1 m vom Elektrometer entfernt befindet. Nähert man dieser Kugel z. B. eine geriebene Glasstange, so sieht man den Meniscus einen Ausschlag vollführen, dessen Grösse von der Stärke der Ladung, von der Grösse und der Geschwindigkeit der Annäherung abhängt. Dieser Ausschlag geht wie jeder Ausschlag in dem nicht zum Kreis geschlossenen Instrument langsam auf Null zurück. Der Rückgang erfolgt etwas schneller, wenn das Instrument nicht zur Erde abgeleitet ist. Ist der Meniscus wieder auf Null gekommen, so erfolgt ein Ausschlag in der entgegengesetzten Richtung, sobald man die Glasstange wieder entfernt. Die Richtungen der Ausschläge sind verkehrt, wenn man statt der

Glasstange eine Harzmasse anwendet. Bewegt man eine geladene Masse in einiger Entfernung von der Kugel rasch in kleinen Schwingungen hin und her, so macht der Meniscus diese Bewegungen mit. Die Empfindlichkeit des Instruments ist auch in dieser Beziehung eine sehr grosse.

Es ist bekannt, dass durch eine an einem Capillarelektrometer hervorgebrachte Verschiebung des Quecksilbers ein Strom erzeugt wird, und auf diesen Umstand ist die Construction eines Capillarelektromotors basirt. Es beruht somit die Messung mit dem Capillarelektrometer auf Compensation — das Capillarelektrometer ist ein automatisch und mit der höchsten Präcision arbeitender Compensator. Um dies einzusehen, mache man folgenden Versuch. Ein Daniell'sches Element und ein Capillarelektrometer und ein äusserst empfindliches Galvanometer (in meinem Falle ein für Nervenströme hergerichtetes) werden in einen Kreis gespannt. Die beiden letzteren Instrumente sind vorläufig durch gute Nebenschliessungen vor der Einwirkung des Stromes geschützt. Nun räume man zuerst die Nebenschliessung vor dem Capillarelektrometer weg und dann die vor dem Galvanometer, und man wird sehen, dass an letzterem gar kein Ausschlag entsteht. Ich muss diese auf Beobachtung basirte Behauptung aufrecht erhalten, trotz des Widerspruchs, welchen Hr. Dr. v. Hepperger[1]) gegen sie erhoben hat.

[1]) Dr. J. v. Hepperger, über einige Eigenschaften des Capillarelektrometers, Wiener akad. Ber. Bd. 82. Abth. II.

Notiz über ein Sinus-Rheonom.

(Aus dem Archiv für Anatomie und Physiologie. Physiologische Abtheilung. 1882. S. 25—27.)

Vor mehreren Jahren, als ich mit der Construction des Ortho-Rheonoms[1]) beschäftigt war, machte ich auch noch andere Versuche, welche dasselbe Ziel hatten, nämlich die Herstellung einer Vorrichtung, welche gestattet, Intensitätsschwankungen von bekannter und beherrschbarer Steilheit in elektrischen Strömen hervorzubringen. So construirte ich auch ein Sinus-Rheonom, machte mit demselben einige Versuche, die mich nicht befriedigten, und beschäftigte mich mit diesem Apparate, der annoch in der Instrumentensammlung unseres Instituts aufbewahrt wird, dann nicht weiter.

Da jedoch, wie ich aus Prof. Christiani's[2]) Bericht über die „Verhandlungen des Pariser Congresses über Elektrophysiologie und Elektrotherapie" entnehme, von den Vorschlägen, welche gelegentlich der Erwähnung des Ortho-Rheonoms und seiner Leistung von zwei Mitgliedern der Commission behufs Erreichung eines ähnlichen Zweckes gemacht wurden, der Eine mit jenem Sinus-Rheonom im Principe grosse Aehnlichkeit besitzt, so möchte ich jetzt eine kurze Beschreibung dieses Instrumentes geben, wenn auch nur, um Anderen die Erfahrungen, welche ich damit gewonnen habe, nutzbar zu machen.

Ich bewickelte eine hölzerne Kugel, die mit einer verticalen Axe drehbar war, parallel einem ihrer Meridiane mit wenigen Lagen dicken isolirten Kupferdrahtes — sämmtliche Windungen waren somit parallel einer Verticalebene.

Diese Kugel befand sich concentrisch in einer Hohlkugel aus möglichst dünnem Holze. Die Hohlkugel bestand aus zwei Hälften,

---

[1]) Sitzungsberichte d. Wiener Akademie der Wissenschaften 1877. Bd. LXXVI. 3. Abth. S. 138 ff.

[2]) Separatabdruck aus der „Elektrotechnischen Zeitschr." 1881. 2. Oct. S. 3.

die durch einen verticalen Schnitt von einander getrennt waren, und mittels eines Falzes aneinandergepasst werden konnten. Oben und unten hatte jede der Halbkugeln einen halbkreisförmigen Ausschnitt, um die Axe, auf der die innere Kugel stak, durchzulassen. Jede der Halbkugeln war nun für sich mit vielen Lagen feinsten Inductionsdrahtes bewickelt, und zwar so, dass alle Windungen dem Rande der Halbkugel parallel liefen. Diese Windungen bildeten eine Kugelschale von circa $1^1/_2$ Cm. Dicke. Es waren im Ganzen gegen 2 Km. Inductionsdraht verwendet, mit einem Widerstande von etwas über 700 S. E. — Der Durchmesser der inneren Kugel betrug 4·5 Cm., die beiden Durchmesser der Kugelschale betrugen 6 und 9 Cm.

Waren die beiden Halbkugeln zusammengestellt und in concentrischer Lage gegen die innere Kugel befestigt, und die Drahtenden gehörig untereinander verbunden, dann wurden die beiden freien Enden des Inductionsdrahtes mit den Reizelektroden verbunden. Die beiden Enden des dicken inducirenden Drahtes, der die innere Kugel bedeckte, waren dicht an der Axe mit dieser durch das obere Loch der äusseren Kugel herausgeführt und entnahmen den primären Strom zwei Quecksilberkreisrinnen. Durch einen Schnurlauf wurde nun die inducirende Kugel in rasche, gleichmässige Rotation versetzt, während ein starker constanter Strom ihre Windungen durchfloss. Wie ohne weiteres klar ist, wurden hierbei in dem äusseren Gewinde Ströme inducirt, deren Intensitäten so schwankten wie der Sinus eines gleichmässig wachsenden Bogens.

Nachdem ich erfahren hatte, dass 12—15 Umdrehungen (in der Secunde) der inneren Kugel, deren Draht von dem Strome zweier grosser Bunsen'scher Elemente durchflossen war, gar keinen Effect an dem Nerven eines sehr empfindlichen Nerv-Muskel-Präparates hervorbrachten, stellte ich das Instrument zur Seite. Gewiss liesse sich durch Verstärkung des primären Stromes und durch Vergrösserung der Rotationsgeschwindigkeit schliesslich ein Effect erreichen — doch glaube ich nicht, dass eine derartige Vorrichtung dann für die Zwecke sehr nützlich wäre, um derenwillen sie eigentlich erfunden wurde. Eher liesse sich vielleicht durch Vermehrung der Windungen auf der äusseren Kugel noch etwas gewinnen.

Ich will zum Schlusse noch bemerken, dass ich diese Construction bisher vollständig verschwiegen habe, weil sie mit der Construction des Kohlrausch'schen Sinus-Inductors[1]) eine unverkenn-

[1]) F. Kohlrausch, Ueber die Wirkungen der Polarisation auf alternirende Ströme und über einen Sinus-Inductor. Poggendorff's Annalen u. s. w. Jubel-Bd. S. 290 ff.

bare Aehnlichkeit hat. Statt des Magnetes in diesem Instrumente befindet sich eben in dem meinigen ein Solenoid; und dann ist die Kugelform der Drahtgewinde in meinem Instrumente vielleicht als ein Vorzug zu betrachten. Das von Joubert vorgeschlagene Instrument scheint mir nun, soviel ich aus der kurzen Andeutung in Christiani's Referat schliessen darf, mit Kohlrausch's Instrument eine noch grössere Aehnlichkeit zu haben.

Wien, 14. November 1881.

Das Chronautographium.

(Aus dem Archiv für Anatomie und Physiologie. Physiologische Abtheilung. 1883, S. 131—133.)

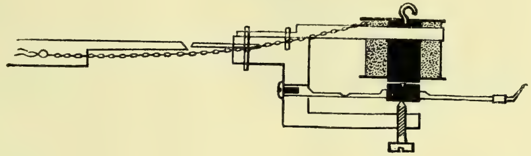
Mit diesem Namen möchte ich einstweilen — in Ermangelung eines zutreffenderen oder wohlklingenderen — eine kleine Vorrichtung bezeichnen, welche sich mir im Laufe einer (noch nicht abgeschlossenen) Versuchsreihe so nützlich erwiesen hat, und welche mir so vielfach verwendbar erscheint, dass ich hoffen darf, man werde ihre Beschreibung an dieser Stelle für nicht ungerechtfertigt halten.

Wenn es sich darum handelt, auf einer vorübergleitenden Schreibfläche den Moment des Eintretens eines Reizes und den Moment des Beginnens der Wirkung am Muskel zu verzeichnen, und aus der horizontalen Distanz der beiden Zeichen die zwischen beiden Momenten gelegene Zeit zu bestimmen, so ist es eine sehr lästige Bedingung für die Brauchbarkeit der ganzen Methode, dass beide Federn entweder genau vertical unter einander stehen, oder dass ihr Horizontalabstand genau bekannt sei. Beschreibt — wie dies bei vielen Versuchsordnungen der Fall ist — die vom Muskel bewegte Feder Bögen um eine feste Axe — Bögen, deren Ebene den Cylindermantel tangirt, so wird, selbst eine anfänglich genau verticale Aufstellung der Federn vorausgesetzt, das Resultat ungenau, sobald im Verlaufe des Versuches eine Dehnung oder eine Contractur des Muskels eingetreten ist, da mit einer Hebung oder Senkung der Abscissenaxe in solchem Falle auch eine, wenngleich unbedeutende Verschiebung des Coordinatenursprungspunktes nach der Seite gegeben ist.

Diesen Uebelständen hilft das Chronautographium ab, indem es gestattet, mit derselben Feder, welche von dem sich zusammenziehenden Muskel in Bewegung gesetzt wird, die Zeitmarken für den Eintritt des Reizes zu verzeichnen.

Ich beschreibe hier die Vorrichtung so, wie sie angebracht wird, wenn man den Muskel am freien Ende eines dünnen elastischen Stabes, etwa einer Fischbeinfeder angreifen lassen will — es wird nicht nöthig sein, die Details der Anbringung an andere Schreibvorrichtungen ebenfalls hervorzuheben.

Fig. 1.



Das freie Ende der Fischbeinfeder (diese ist in der Figur unterbrochen gezeichnet) steckt fest in einem aus Ebonit gearbeiteten, auf einer Seite offenen Rähmchen, und zwar in einem seitlichen Fortsatze, welcher von der verticalen Leiste desselben entspringt. Die obere horizontale Leiste geht in einen Ring aus, in welchem ein kleiner Elektromagnet befestigt ist. Ein Haken am oberen Ende des letzteren dient zur Verbindung mit dem Muskel.

Der Anker dieses Magnetes besteht aus einem kurzen Cylinder, über dessen obere Fläche ein kupfernes Köpfchen ganz wenig hervorragt, um völlige Berührung mit dem Magnete zu verhindern. Dieser Anker sitzt fest an einer ziemlich weichen Feder, welche von der verticalen Leiste des Rahmens entspringt und über den Anker hinaus sich in eine leichte, nicht federnde Nadel fortsetzt, welcher an ihrem freien Ende die Schreibspitze aufgesteckt wird.

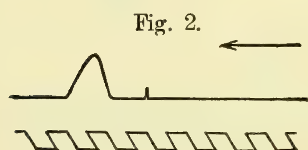
Mit seiner unteren Fläche ruht der Anker auf der Spitze einer Messingschraube, welche die untere horizontale Leiste des Rähmchens nahe ihrem freien Ende durchbohrt.

Die Wirkungsweise des Ganzen ist nun ohne Weiteres klar. Wird der die Zeit markirende Strom für einen Augenblick geschlossen, so bewegt sich der Anker mit der die Schreibspitze tragenden Feder allein; zieht sich hingegen der Muskel zusammen, so bewegt sich das ganze System und mit ihm die Schreibspitze, und die Beweglichkeit der die Schreibspitze tragenden Feder kommt wegen des Aufruhens des Ankers auf der Schraubenspitze gar nicht zum Ausdrucke.

Letztere Bedingung muss allerdings sehr vollkommen erfüllt sein, wenn die Angaben des Instrumentes verlässlich sein sollen; sie ist aber durch eine passende Wahl der Feder, in welcher der Anker sitzt, leicht zu erfüllen. Der Theil zwischen der Schreibspitze und dem Anker darf, wie schon erwähnt, gar nicht federn; der Theil zwischen dem Anker und der Befestigung im Rähmchen federt auch nur an

einer kurzen Stelle, er besteht aus hartem Messingblech, welches an einem Punkte mit der Rundfeile von oben her so weit ausgefeilt ist, als für die Bewegbarkeit des Ankers durch den Magnet erfordert wird. Für diesen Fall ist dann das System, wenn der Anker auf seiner Schraubenspitze ruht, für nach aufwärts gerichtete Bewegungen als ein starres anzusehen — vorausgesetzt, dass an der Schreibfläche keine übermässige Reibung stattfindet, was ja übrigens auch aus anderen Gründen nicht statthaft ist und jedenfalls vermieden werden muss.

Fig. 2.



In nebenstehender Figur ist ein Stück einer mit dem Chronautographen gezogenen Curve getreu abgebildet.

Die Breite eines Zahnes oder einer Lücke des untersten Zuges entspricht $^1/_{10}''$. Die (im Sinne des Pfeiles) erste kleine Erhebung des oberen Zuges zeigt den Moment, in welchem die Brücke des Rheonoms durch die Nullstellung durchging, die zweite, grössere Erhebung ist die vom Muskel gezeichnete Zuckungscurve.

IV.

Vermischtes.

Rokitansky.

(Zum 70. Geburtstage Rokitansky's. Feuilleton der „Deutschen Zeitung“, Wien, 19. Februar 1874.)

Nachdem die Romantik, wie anderwärts so auch in der Wissenschaft, kläglich abgewirthschaftet hatte und der Titel Naturphilosoph anfing, zu jener Sorte von Auszeichnungen zu gehören, die man nur in ganz beschränkten Kreisen offen trägt, im Uebrigen aber zu verbergen sucht; nachdem an Stelle phantasievoller Inspirationen eine rechtschaffene Logik getreten war und jeder Schüler das Recht erhalten hatte, jeden Meister nach den Beweisen für seine Behauptungen zu fragen: da zog wohl in kurzer Zeit in die sämmtlichen Naturwissenschaften ein neuer, höchst fruchtbarer Geist ein, und die Blüthe jedes einzelnen Zweiges derselben datirt von dem Moment an, in welchem eben auch auf seine Fragen die neuen Methoden der Forschung angewandt wurden. Und jede dieser vielen Wissenschaften hat ihre grossen Männer, deren Grösse und unsterbliches Verdienst darin bestanden hat, dass sie die Nothwendigkeit eines streng logischen Vorgehens anerkannten, jedes Spiel der Phantasie und mochte es noch so reizend und geistreich sein, erbarmungslos ignorirten und so, indem sie dem eigenen Genie die Fesseln der Logik anlegten, ihre Wissenschaft von den Fesseln des Aberglaubens befreiten. — Es ist nicht möglich, hier auch nur in gröbsten Umrissen diesen Sieg der Methode seinem Verlaufe nach zu schildern; nur so viel sei gesagt, dass kaum eine Disciplin des menschlichen Forschens sich seinem Einfluss entzogen hat, dass die meisten Naturwissenschaften ihre grössten und schönsten Triumphe der Bekehrung zu der neuen Methode, der Methode der Thatsachen, verdanken.

Von diesem ganzen grossen Umsturze, von diesem eifrigen, gedeihlichen Treiben ringsum auf allen Gebieten der Wissenschaft blieb nun die Medicin einstweilen vollkommen unberührt. Ganz verwandte Disciplinen, die Physiologie, Chemie, Physik u. s. w. waren längst

zu wirklichen Wissenschaften im strengen Sinne des Wortes geworden — die Medicin lag zwischen ihnen als ein wirrer Haufen von höchst abenteuerlichen Vorstellungen über alle möglichen Vorgänge, von Kunstregeln, die in gar keinem Zusammenhange mit irgend etwas Sicherm oder auch nur unter einander standen, von Heilmethoden und Recepten, die unsern Respect vor der Leibesconstitution unserer Vorfahren, nicht aber vor dem Verstande ihrer Aerzte vermehren, und endlich von einer Unzahl von Geheimmitteln. Viele der Heilvorschriften aus jener nicht allzu fernen Zeit sind Ausgeburten einer so tollen Einbildungskraft, dass ihre Zurückführung auf irgend einen *soi-disant* wissenschaftlichen Gedanken heute nicht mehr möglich ist; andere, deren Verbindung mit den übrigen Ideen ihrer Erfinder uns überliefert ist, geben für die Köpfe, in welchen solche Ideen sprossten, eben kein vortheilhaftes Zeugniss ab. Ein Beispiel statt vieler mag genügen. Man verordnete ganz allgemein den gebrannten und gepulverten Kern der Wallnuss gegen Kopfleiden eingestandenermassen aus dem Grunde, weil die Runzeln und Windungen an der Oberfläche der Nuss eine gewisse Aehnlichkeit mit den Gehirnwindungen haben. Solcher Unsinn wird natürlich erst verdammlich, wenn man bedenkt, dass er zu einer Zeit blühte, in welcher andere verwandte Wissenschaften schon vollkommen in der Lage gewesen wären, die Medicin auf vernünftigere Bahnen zu weisen, wenn diese es für der Mühe werth gehalten hätte, bei ihren Schwestern anzufragen. Wem es aber unglaublich erscheint, dass noch vor fünfzig Jahren solche Heilprincipien galten, der wird hiemit auf die Homöopathie verwiesen, welche noch heutigentages Principien von der gleichen logischen Dignität wie die oben erwähnten zu Markte trägt.

Der Grund aber dieser heillosen Verwirrung ist darin zu suchen dass die Mediciner der früheren Epoche über das Wesen der Krankheit ganz unklare und falsche Vorstellungen hatten. Schon längst hatte die Physiologie sich bestrebt, die einzelnen Lebensäusserungen als Verrichtungen der Organe zu erkennen und nachzuweisen, inwieferne die Verrichtung des Organes durch seinen Bau und die chemische Zusammensetzung der in Betracht kommenden Stoffe bedingt sei. Die Medicin nahm von allen diesen Bestrebungen möglichst wenig Notiz, sondern zog es vor, sich mit dem *„genius morbi“*, dem „Kranheitsgeist“ zu behelfen.

Allerdings hatten einzelne Männer versucht, dem Thatsächlichen der Krankheit nachzuspüren, und trachteten demnach, die Bestätigung ihrer Voraussetzung, dass die Krankheit eine abgeänderte Verrichtung derselben Organe sei, welche das normale Leben be-

dingen, in dem Nachweis von solchen sichtbaren Veränderungen in den Organen zu finden, welche zur Erklärung einer abnormen Function ausreichten. In diesem Sinne hat Morgagni in der zweiten Hälfte des verflossenen Jahrhunderts sein Buch: „Ueber den Sitz und die Ursachen der Krankheiten“ verfasst und darin viele zum grössten Theile sehr richtige Beobachtungen an der Leiche mitgetheilt. Andere, unter ihnen Meckel, Cruveilhier, Johannes Müller, der grosse Physiologe, machten nach ihm ähnliche Versuche, in welchen durch Wort und Bild eine Menge von anatomischen Veränderungen in den einzelnen Organen veranschaulicht und mit bestimmten Krankheiten und Symptomen in Zusammenhang gebracht sind. Den Aerzten der damaligen Zeit muss im Allgemeinen der Vorwurf gemacht werden, dass sie sich um die sehr bemerkenswerthen Resultate dieser Bestrebungen viel zu wenig bekümmert haben, ein Vorwurf, der die Chirurgen in viel geringerm Maasse trifft; diese merkten sehr bald, dass die Sache sie anging, und wirkten nach Kräften mit am Aufbau der neuen Wissenschaft. Alle diese Bestrebungen sind aber nur als Vorläufer einer grandiosen wissenschaftlichen That anzusehen, zu der sie sich etwa so verhalten wie jenes eigenthümliche Knistern, welches einer starken elektrischen Entladung vorangeht, zu dem blendenden Funken selbst. Diese grosse That besteht in dem Aufbau einer ganzen neuen Wissenschaft — der pathologischen Anatomie — und der diese Wissenschaft aufgebaut hat, ist Rokitansky.

Er hat durch sorgfältige Durchmusterung einer ausserordentlichen Anzahl von Leichen alle Veränderungen, welche an den Organen des menschlichen Leibes vorkommen — und ihre Zahl ist Legion — kennen gelernt, hat die Entstehungsgeschichte aller dieser Veränderungen, ihre möglichen Ausgänge, ihren Einfluss auf andere Organe und auf den ganzen Körper, ihren Zusammenhang mit Krankheitserscheinungen erforscht und damit ein ganzes Meer von Licht über ein grosses Gebiet ergossen, welches bis dahin in finsterer Nacht gelegen hatte oder nur von schwachen Dämmerungen spärlich erhellt worden war. Um die ganze Grösse dieser Leistung zu würdigen, muss man einigermassen mit den Schwierigkeiten vertraut sein, welche sie umgeben. Es soll versucht werden, einige von ihnen namhaft zu machen. Zunächst existirt das, was sich der Laie unter einem Normalzustande des Körpers vorstellt, gar nicht. Fast jeder Theil des Körpers kann an Grösse, Form, Lage, Farbe u. s. w. beträchtlich schwanken, ohne dass die mindeste Störung in seiner Verrichtung, also in der Gesundheit des ganzen Körpers, dadurch

bedingt wäre. Andererseits bieten gewisse Veränderungen der kleinsten Bestandtheile eines Organes, welche die Gesundheit, ja das Leben des Menschen im höchsten Grade gefährden, dem Auge des Beobachters an der Leiche oft kaum merkbare Spuren ihres Vorhandenseins dar, etwa eine geringe Aenderung in der Farbe oder in der Derbheit des betreffenden Organes. Die Wichtigkeit solcher minimaler Veränderungen gegenüber der Unbedeutsamkeit anderer, viel schreienderer herauszufinden, das erfordert nicht nur eine seltene Strenge und Nüchternheit der Beobachtung, sondern zugleich eine Schärfe und Feinheit der Sinne, die etwas ebenso Besonderes und Bewunderungswürdiges ist wie die künstlerische Befähigung. Eine weitere Schwierigkeit bietet der Umstand, dass die Eröffnung und Zergliederung der Leiche erst zu einer Zeit gestattet ist, die den einzelnen Organen erlaubt, sich sehr beträchtlich von dem Zustande zu entfernen, in welchem sie sich im Moment des Todes befanden.

Man rechne hinzu, dass durch das Studium der Leiche auch noch das Alter einer jeden Veränderung, die Reihenfolge, in welcher die Veränderungen eingetreten sind, und die Art, wie sie eine durch die andere bedingt waren, herausgefunden werden soll, ferner, dass der pathologische Anatom in Hinsicht auf das Object seines speciellen Studiums, also z. B. eine bestimmte Erkrankung eines Organs, vollkommen dem Zufall in die Hand gegeben ist, der ihm das erforderliche Material vielleicht erst nach Jahren zukommen lässt — und man wird begreifen, dass die Arbeit, eine vollständige pathologische Anatomie zu schaffen, ungeheuer ist; man wird vielleicht sogar begreifen, dass sie die Fähigkeiten und Kräfte eines einzelnen Menschen um ein Vielfaches überschreitet. Und doch hat ein Einzelner diese Aufgabe gelöst in glänzender, nie geahnter Weise — Rokitansky.

Der Erfolg dieser Arbeit war ihrer Grösse angemessen. Unmittelbar, nachdem sie bekannt geworden war, begann ein neuer Geist in der Medicin zu herrschen, nicht ganz so leicht zu fassen, wie Mephistopheles meint. Die Medicin eignete sich nebst den directen Ergebnissen der pathologischen Anatomie auch noch ihre Methode, d. i. also die Methode der Naturwissenschaft überhaupt, an und bezeichnete die ungemeine Wichtigkeit dieses Schrittes dadurch, dass sie sich selbst von nun an „rationelle Medicin" nannte.

Die Krankheit war nicht mehr ein unbestimmtes, unfassbares Etwas, sondern an bestimme Organe, bestimmte, grossentheils genau bekannte Vorgänge in diesen Organen geknüpft. Wollte man die Krankheit erkennen, so hatte man zunächst nach dem schuldigen Organ zu forschen, und hiezu boten sich reichliche Mittel. Die Re-

sonanz, der Widerstand der einzelnen Körpertheile liess Schlüsse zu auf die nächstgelegenen Organe — die physikalische (und chemische) Untersuchung des kranken Organismus war eine unmittelbare Folge der anatomischen Erkenntniss. Auch die Wahl der Heilmittel geschah alsbald nach vernünftigern Principien; kannte man doch den Feind um so Vieles genauer; je nach dem Wohnort und der Art desselben wählte man seine Waffen.

Es sei genug an diesen Andeutungen über die praktische Tragweite der neugebornen Wissenschaft. Sie ist in fortwährendem Contact mit der klinischen Medicin, aber darum, ihre Selbstständigkeit als reine Naturwissenschaft nicht aufgebend, in den Händen Rokitansky's und vieler anderer, jüngerer Männer, von denen nur Virchow genannt sei, dessen grosser Arbeitskraft sie so Vieles verdankt, rasch emporgeblüht zu ihrer jetzigen Grösse. Heutzutage nimmt sie eine geradezu centrale Stellung im ärztlichen Wissen ein. Sie bestimmt die Thätigkeit des Arztes beim Stellen der Diagnose, bei der Auffassung und grossentheils bei der Behandlung der Krankheit; der Arzt, der ihrer entbehrt — und es soll solche geben, sagt man — entbehrt das Beste, was er wissen kann, er hat nämlich keine Vorstellung davon, wie es in seinem Patienten aussieht.

Glücklich ist der Mann zu preisen, dem es vergönnt ist, so reiche Früchte seiner Begabung und seines Fleisses noch mit eigenen Augen reifen zu sehen, der Zeuge davon sein darf, wie die ganze civilisirte Menschheit die Güter, die sein Genie ihr geschaffen hat, geniesst und ihm als Lohn für so reiche Gabe dankend und bewundernd den Lorbeer überreicht. Es ist der ausschliessliche Zweck dieses Aufsatzes, die wissenschaftliche Bedeutung Rokitansky's hervorzuheben, darum soll über seine politische und administrative Thätigkeit, sowie über seine Person selbst kein Wort gesagt sein — was er aber als Philosoph geleistet hat, darf hier nicht mit Stillschweigen übergangen werden. Rokitansky hat in drei akademischen Reden, von denen er die eine bei Gelegenheit der Eröffnung des neuen pathologisch-anatomischen Institutes, die beiden andern (über den Werth des Wissens, über die Solidarität alles Thierlebens) in feierlichen Sitzungen der kaiserlichen Akademie hielt, gezeigt, dass jene kolossale Hauptarbeit seines Lebens ihm noch Musse gelassen zur Aneignung einer sehr gründlichen philosophischen Bildung, zum Studium der Denker aller Zeiten und Völker, und dass sein Geist, so unglaublich productiv in der beschreibenden Naturwissenschaft, auch schönste Blüthen der reinen Speculation zu treiben vermag. Dass es ihn nicht anmuthen konnte, mehr in diesem Fache zu publiciren, wird Jeder

verstehen, der bemerkt hat, was für jämmerlichen Götzen der heutige philosophische Pöbel nachläuft. Den ernsten Kenner und Bewunderer Kant's muss wohl ein derartiger Anblick von jeder Einmischung zurückschrecken. Rokitansky ist als Weiser eben so gross wie als Gelehrter, und Wien ist stolz darauf, einen solchen Mann seinen Bürger zu nennen; eine Zeit aber, in welche die — wenn auch mit des Alters Schnee bedeckten — Häupter solcher Riesen hineinragen, hat keinen Grund, sich klein und unbedeutend zu schelten.

Mikroskope.

(Aus dem Bericht über die Weltausstellung in Philadelphia 1876.)

Die Entwickelung der Mikroskope darf heutzutage als nahezu abgeschlossen betrachtet werden. Theoretische Gründe sprechen dafür, dass man mit Instrumenten, welche nach dem Principe unseres Compositums eingerichtet sind, keine beträchtliche Steigerung der Vergrösserung über das bereits erreichte Maass hinaus wird erzielen können — die erforderlichen Grade von Lichtstärke, Deutlichkeit, Achromasie u. s. w. der Bilder immer als Grundbedingung vorausgesetzt. Und gerade jetzt fangen die englischen und amerikanischen Mikroskope an, eine gewisse Rolle zu spielen. Um die Ursache davon anzugeben, muss ich etwas weit ausholen.

Gleich von vornherein waren die Bestrebungen der Optiker verschiedener Nationen zur Vervollkommnung der Mikroskope sehr verschiedenen Zielen zugewandt. Während man in Deutschland (Oesterreich mit inbegriffen), Frankreich und Italien bemüht war, möglichst gute Linsen herzustellen, um gute und starke Vergrösserungen zu bekommen, verfertigte man in England und Amerika sehr schöne und grosse Stative, trachtete den Mikroskopiker gleichsam unabhängig von seiner eigenen Geschicklichkeit zu machen, indem jegliche feine und mit Sorgfalt auszuführende Bewegung mit Hilfe complicirter Schrauben und Triebwerke hervorgebracht wurde. Diese Verschiedenheit in der Richtung, nach welcher hin die Instrumente in den einzelnen Ländern vervollkommnet wurden, hängt aber wieder ab von der Verschiedenheit in der Verwendung der Instrumente in diesen Ländern. In Deutschland, Frankreich u. s. w. wurden die Mikroskope von den Gelehrten der verschiedenen Fächer zu ihren Forschungen und sofort zum Unterrichte verwendet, während in England und Amerika das Mikroskop mindestens ebensoviel zum Spielen wie zum Arbeiten verwendet wurde. Den an subtile Hantirung aller Art gewohnten Fingern der Naturforscher durfte man nun allerdings

auch eher eine feine Verschiebung des Tubus oder der Objectplatte zumuthen, als den sehnigen Fäusten des englischen Sportsman. Dieser Letztere wollte auch vor seinen Freunden mit dem vielen blanken Messing, der Grösse und Complicirtheit seines Instrumentes brilliren, den vielen Schrauben, Schlitten, Drehscheiben, Objecthältern, die daran beweglich waren, und deren Ensemble alles Andere eher errathen liess, als dass es sich hier um die Betrachtung eines kleinen Gegenstandes durch einige hintereinandergestellte Gläser handelte. Die Engländer und Amerikaner waren auch wirklich bald bei der Herstellung von Instrumenten angelangt, deren mechanischer Theil im Princip und im einzelnen Falle mit einer Sorgfalt und Vollendung durchgearbeitet war, neben der die deutschen und französischen Instrumente geradezu als roh erscheinen mussten. Nachdem nun auf dem europäischen Continent in Folge der Thätigkeit einer Reihe von Männern, wie Amici, Schieck, Plössl und Hartnack, das Mikroskop als optisches Instrument seine Vollendung erreicht hatte, bestand der Fortschritt eigentlich nur mehr in einer Erweiterung der Kunst, welche bis dahin nur Wenigen eigen war. Es gibt jetzt in Deutschland, Frankreich und Oesterreich schon recht viele Optiker, welche Mikroskope verfertigen, deren optischer Theil vortrefflich ist. Auf der anderen Seite waren die Engländer und Amerikaner auch allmälig in der Vervollkommnung der Stative auf einem Punkte angelangt, von dem aus weitere Bedürfnisse, die etwa noch zu befriedigen wären, nur mit Mühe aufgefunden werden konnten. Nun wandten sich auch die Engländer und Amerikaner der Verbesserung des optischen Theiles der Instrumente zu und holten in dieser Beziehung die continentalen Europäer bald ein, während diese nicht in gleicher Weise die Vollkommenheit des englischen und amerikanischen Stativs anstrebten, sondern den einmal acceptirten, ziemlich einfachen Formen nur geringe Abänderungen zu Theil werden liessen. Hierin also liegt der Grund dafür, dass die englischen und amerikanischen Mikroskope jetzt anfangen, eine Rolle zu spielen.

Ich will hier gleich zu Anfang die Ansicht aussprechen, welche allerdings nur meine Privatansicht ist, dass die stärksten Systeme, welche Hartnack fabricirt, besser sind, als irgend etwas Anderes, was von irgend einem anderen Mikroskopiker gemacht wird. Aber es gibt schon sehr viele deutsche, französische, englische und amerikanische Mikroskop-Fabrikanten, welche die Güte der Hartnack'schen Systeme nahezu erreichen. Wenn ich also sage, dass die Engländer und Amerikaner, sowie viele Continental-Europäer jetzt auch den optischen Theil der Mikroskope in vorzüglicher Weise her-

stellen, so meine ich damit, dass sie starke Linsensysteme schleifen, welche ebenso gut sind, wie die Hartnack'schen, und dass ihre stärksten Linsensysteme denen Hartnack's an Güte nahe kommen. Lässt man ausser der Stärke der Vergrösserung und der Güte des Bildes auch noch andere Eigenschaften als Kriterien der Linsensysteme gelten, so z. B. den wirklichen Focalabstand, so muss man zugeben, dass von diesem beschränkten Standpunkt aus die Hartnack'schen Systeme sogar von einigen englischen und amerikanischen Optikern übertroffen werden. Die Vergrösserung des Focalabstandes darf aber nicht über ein gewisses Maass hinaus getrieben werden, ohne dass andere wesentliche Eigenschaften der Bilder darunter leiden.

Von den auf der amerikanischen Ausstellung vertretenen Firmen schien mir in dieser Beziehung die von Ross in London als die vorzüglichste.

Was nun die principiellen Unterschiede in der Mechanik der Amerikaner und Engländer auf der einen und der Continental-Europäer auf der anderen Seite anlangt, so ist vor allen Dingen hervorzuheben, dass die Art, wie an den continental-europäischen Mikroskopen die feine Einstellung angebracht ist, geradezu eine mechanische Barbarei enthält. Bei unseren Mikroskopen bewegt nämlich die feine Einstellung ein Stück des Mikroskops, innerhalb dessen die grobe Einstellung vollzogen wird, während an den englischen und amerikanischen Mikroskopen durch die grobe Einstellung ein Stück des Mikroskopes bewegt wird, innerhalb dessen sich die feine Einstellung vollzieht. Demzufolge kann die feine Einstellung an unseren Mikroskopen gar nicht so fein gemacht werden, wie an den englischen und amerikanischen, denn es muss ja durch sie eine verhältnissmässig grosse Last bewegt werden, und jeder Druck, welcher bei Hantirung mit der groben Einstellung ausgeübt wird, beschädigt unmittelbar den Mechanismus der feinen Einstellung. So kommt es, dass bei unseren besten Mikroskopen oft nach kurzer Zeit bei Bewegung der Schraube zur feinen Einstellung sich ein Wandern des Bildes oder ein todter Gang der Schraube bemerklich macht, beides äusserst unangenehme Uebelstände, die auch an dem schlechtesten amerikanischen Mikroskop, welches durch Jahre verwendet wurde, niemals vorkommen.

Die feine Einstellung der englischen und amerikanischen Mikroskope beruht auf der Verschiebbarkeit des untersten Theiles des Tubus gegen den übrigen Tubus. Dieser unterste Theil wird durch eine ganz schwache Feder nach abwärts gedrückt, gegen welche Feder die Mikrometerschraube mit Hilfe eines Hebels arbeitet. Der Tubus

sammt der an ihm befindlichen Vorrichtung zur feinen Einstellung wird bei Handhabung der groben Einstellung (mittelst Zahnstange und Trieb) gehoben und gesenkt. Ein zu tiefes Herabsenken des Tubus mittelst der groben Einstellung hat nicht, wie bei uns, unfehlbar die Zertrümmerung entweder des Präparates oder der Objectivlinse zur Folge, sondern letztere weicht wegen der grossen Nachgiebigkeit der Feder, durch welche das Stück, an das sie angeschraubt ist (nose-piece) nach abwärts gedrückt wird, zurück.

Die Höhe eines Schraubenganges der feinen Schraube ist viel geringer als bei uns und die Feinheit der Ausführung des ganzen Apparates zur feinen Einstellung ist der bei uns üblichen und nach unserem Systeme möglichen weit überlegen. Ich stehe nicht an, in diesem Umstande der Anbringung der feinen Einstellung an einer naturgemässen Stelle des ganzen Apparates, den Grund für die eigentliche Ueberlegenheit der englischen und amerikanischen Mikroskopmechanik über die unsrige zu finden.

Ein zweiter, wenn auch nicht so wesentlicher, so doch immerhin ganz beachtenswerther Unterschied liegt darin, dass alle Blendungs-, Beleuchtungs-, Polarisations- und Spectral-Vorrichtungen, welche zwischen Spiegel und Object zu placiren sind, bei uns in irgend einer Weise an den Objecttisch angehängt werden, während die Engländer und Amerikaner aus dem Körper des Mikroskops ein eigenes Querstück zwischen Spiegel und Objecttisch herauskommen lassen, welches zur Aufnahme aller dieser Apparate bestimmt und dessen Distanz vom Objecttisch veränderlich ist, dessen Einrichtung ferner gestattet, die eingeschalteten Beleuchtungs- und Polarisations-Apparate um die optische Achse des Instrumentes zu drehen und die vorgenommene Drehung an einer Gradtheilung abzulesen.

Die amerikanischen Mikroskope stehen alle auf einer grossen schweren Basis, aus der ein massiver Fuss oder ein Paar von Füssen sich erhebt, auf denen dann die Querachse ruht, um die das ganze Mikroskop gedreht werden kann. Die Festigkeit um diese Achse beruht nicht blos auf der Reibung im Winkelgelenke, sondern kann, nachdem dem Mikroskop die beliebte Richtung gegeben ist, durch Anziehen einer Schraube garantirt werden.

Ueber die Art der Einstellung habe ich schon oben gesprochen, und es ist nur noch nachzutragen, dass sich bei verschiedenen Mikroskopen der Kopf der feinen Schraube bald vor, bald hinter dem Tubus befindet. Fast alle englischen und amerikanischen Mikroskope haben zwei Tuben, von denen durch Zurückziehen jenes Prismas, welches an der Vereinungsstelle der beiden liegt und wel-

ches das Bild theilt, der eine ausgeschaltet werden kann, wobei dann der andere keine anderen optischen Elemente enthält, als ein gewöhnlicher einfacher Tubus.

Der Objecttisch selbst ist in der bekannten Weise mit zwei auf einander senkrechten Schlitten versehen, denen durch Schrauben oder Triebe Bewegungen mitgetheilt werden können, die sich natürlich feiner ausführen lassen, als die Bewegungen des Objectträgers aus freier Hand. Ausserdem wird bei vielen amerikanischen Mikroskopen jenes bekannte Mittelding zwischen mechanischer Verschiebung und Verschiebung aus freier Hand angewendet, bei welchem durch einen Hebel, der an seinem einen Ende in einem Nussgelenke befestigt, an seinem anderen Ende mit den Fingern bewegt, Kegelflächen beliebiger Ordnung beschreiben kann, und von dessen Bewegung blos die beiden horizontalen Componenten auf den Objectisch übertragen werden, dieser in allen beliebigen Richtungen verschoben werden kann, wobei ausserdem noch der Widerstand, der sich dem Schieben entgegensetzt, auf ein erwünschtes Maass und auf eine sehr bequeme Gleichförmigkeit gebracht wird, dadurch, dass ein Theil des beweglichen Objecttisches, welcher aus einer planparallelen Glasplatte besteht, zwischen Metallspitzen mit regulirbarer Reibung gleitet.

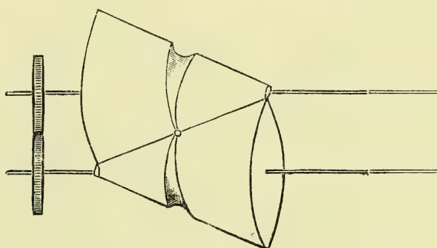
Von besonderen neuen Nebenapparaten des Mikroskops, welche an ausgestellten Instrumenten vertreten waren, und welche bei uns nicht üblich sind, seien folgende Details genannt, die theils den Stativen Zentmaier's (Philadelphia), theils denen zweier später zu nennender englischer Optiker entnommen sind: 1. eine Kreistheilung am Fusse des Mikroskops zur Beurtheilung des Oeffnungswinkels von Objectiven; 2. eine Reihe von Concentrationsapparaten für das Licht, unter denen wieder eine auch in England gebräuchliche hier beschrieben werden mag. Sie besteht aus einem gläsernen Rotationsparaboloid, welche mit einer planen auf die Achse senkrechten Endfläche dem Beleuchtungsspiegel zugewendet ist und dessen Pol wieder abgeschliffen ist, dadurch dass eine Höhlung, welche ein dem ersten conaxiales, kleineres Rotationsparaboloid vorstellt, von oben her in das erstere eingeschliffen ist. Das grosse Paraboloid ist in seiner Achse durchbohrt von einem dünnen Draht, welcher sich auf- und abschieben lässt und an seinem oberen Ende in eine kleine, etwa $^1/_3$ Zoll im Durchmesser haltende, horizontal stehende, schwarz gefärbte Kreisplatte ausgeht, auf welche das zu untersuchende Object zu liegen kommt. Der Gang von parallelen Strahlen, welche von unten her in dieses Beleuchtungssystem einfallen, wird so verändert, dass die Strahlen blos in der einen Ebene des Objects, oder in Ebe-

nen, welche von dieser nur um sehr kleine Winkel abweichen, das Object beleuchten. Es ist durch eine Reihe von Blenden die Möglichkeit gegeben, beliebige Sectoren des Strahlencylinders vor seinem Eintritt in das Paraboloid abzublenden und somit nur bestimmte und beliebige Azimuthe des seitlichen Lichtes zur Geltung zu bringen. Wie man sieht, läuft der Zweck dieses Apparates darauf hinaus, extreme Grade schiefer Beleuchtung herzustellen und somit feine und zarte Reliefzeichnungen durch Hervorrufung greller Schlagschatten deutlich zu machen. Dass ein derartig künstlich beleuchtetes Object nicht leicht an seiner Oberfläche wird Abweichungen von der ebenen Begrenzung tragen können, ohne dass diese dem Beschauer auffallen, ist klar, andererseits dürften aber auch die bei so schiefer Beleuchtung entstandenen Bilder leicht zur falschen Deutung der ihnen zu Grunde liegenden morphologischen Verhältnisse Veranlassung geben.

Die von englischen Optikern gefertigten Apparate zur Regulirung der Beleuchtung waren folgende: Erstens hatten R. & J. Beck ein ungemein sorgfältig gearbeitetes, hübsch erdachtes Diaphragma mit veränderbarem Radius der Lichtung unter dem Namen „Iris-Diaphragma“ ausgestellt. Ein ähnliches, aber weniger sorgfältig gearbeitetes, hatte Ross mitgebracht. Das „Iris-Diaphragma“ besteht aus einer grossen Anzahl viereckiger dünner Metallplättchen, welche, einander grösstentheils bedeckend, so um eine Achse herum angeordnet sind, dass ihre der Achse zugewendeten Ränder zusammen einen Kreis einhüllen; durch eine einfache und handliche mechanische Vorrichtung kann die Fläche des Kreises concentrisch mit sich selbst vergrössert und verkleinert werden, indem seine Peripherie fortwährend von den Innenrändern der sich gegen einander verschiebenden Plättchen, als von eben so vielen Tangenten, eingehüllt wird. Die Correctheit hängt direct von der Anzahl der verwendeten Pättchen ab, und da diese bei Ross nur 8 beträgt, während R. & J. Beck über 20 verwenden, so ist hierin hauptsächlich der Grund der grösseren Vollkommenheit des Beck'schen „Iris-Diaphragma“ zu suchen.

Ein anderes in seiner Lichtung veränderliches Diaphragma, welches Zentmayr ausgestellt hatte, besteht aus zwei, mit ihren Achsen parallel und horizontal gerichteten, abgestumpften Kegeln, welche so unter dem Objecttische liegen, dass die Linie, in der sich die Mantelflächen berühren, von der Achse des Instrumentes getroffen wird. In jedem der beiden Kegel ist eine Kreisrinne an der Mantelfläche eingeschnitten und die beiden Kreisrinnen ergänzen sich zu

einem horizontal liegenden Kreise, dessen Mittelpunkt immer da liegt, wo die Berührungslinie der Mantelflächen von der Achse des Instrumentes getroffen wird. Da nun der Radius des Halbkreises, welcher den Querschnitt einer solchen Rinne darstellt, entlang der Rinne von Null bis zu einer Länge von etwa 3 Linien stetig wächst, ferner jede Rotation, die man dem einen Kegel gibt, eine gleiche und entgegengesetzte Rotation des andern Kegels bedingt, und die beiden Kreisrinnen ausserdem so adjustirt sind, dass die beiden auf einander treffenden Halbkreise in jeder Lage unter einander gleiche Radien haben, so ist ersichtlich, dass man durch Rotation der Kegel die Kreisfläche, durch welche das Licht einfällt, concentrisch mit sich selbst vergrössern und verkleinern kann. (Siehe den beigefügten Holzschnitt.)



Von Werth dürfte die Einrichtung sein, die Zentmayer an seinen grossen Mikroskopen anbringt, dass, wenn der Spiegel behufs schiefer Beleuchtung auf die Seite hinaus gedreht wird, ohneweiters auch die Concentrations-Apparate für das Licht um denselben Winkel in derselben Ebene mit hinausgedreht werden.

Zentmayer selbst verfertigt keine Objectivsysteme, welche eine geringere reducirte Brennweite als $^1/_5$ Zoll haben, also nur schwache und mittlere Vergrösserungen. Starke Systeme, von Tolles geschliffen, hatte Zentmayer ausgestellt, und man muss sagen, dass diese Systeme zu den guten gehören.

Sehr vorzüglich sind jedoch die sämmtlichen, auch die sehr starken Systeme von Wales, einem gebornen Engländer, Schüler von Ross, der sich jetzt in Amerika ausschliesslich mit der Herstellung von Objectivsystemen befasst. Sonst waren überhaupt keine ausgezeichneten amerikanischen Mikroskope ausgestellt. Erwähnenswerth sind nur noch die „Student-Mikroskops“ von Queen (Philadelphia) und als Massstab für die Preise, welche die amerikanischen Optiker für ihre Instrumente verlangen, mag die Angabe dienen,

dass diese ziemlich mittelmässigen Mikroskope, deren ganzer optischer Apparat aus einem schwachen und einem mittleren Objectivsysteme ($^2/_3$ und $^1/_5$ Zoll Brennweite), einem Oculare und einem Condensor besteht, 125 Dollars kosten.

Das grosse Zentmayer'sche Mikroskop mit allem möglichen Zubehör und einem Dutzend Objective, von denen keines eine kleinere Brennweite als $^1/_5$ Zoll hat, kostet 778 Dollars.

Hübsche mikroskopische Präparate, besonders aus der Histologie der wirbellosen Thiere, hat Walmsley (Philadelphia) ausgestellt.

Da es die Absicht dieses Berichtes ist, sich wesentlich mit den Produkten der amerikanischen Industrie zu beschäftigen, so sei nur in Kürze über die von europäischen Optikern ausgestellten Mikroskope Folgendes gesagt:

Einigermassen vollständig war nur England vertreten, und es hatten Crouch, R. & J. Beck, Negretti & Zambra und Ross ausgestellt. Die Stative von Negretti & Zambra haben einen geradezu monumentalen Charakter; die optischen Leistungen sind nicht mehr als mittelmässig, etwa die Polarisations-Apparate ausgenommen. Crouch hatte zweckmässige und relativ billige Stative und recht gute schwache und mittlere Vergrösserungen. Ganz ausgezeichnet aber waren die Stative, sowie die Linsen von Beck und Ross. Die Systeme $^1/_5$ und $^1/_{10}$ (Immersion) von Beck (letzteres in Preis und Leistungsfähigkeit der Immersion Nr. 10 von Hartnack sehr ähnlich), ferner $^1/_5$, $^1/_{10}$ und $^1/_{15}$ von Ross sind ganz ausgezeichnete Linsen. $^1/_{20}$ und $^1/_{40}$ von Beck und einige kolossale Vergrösserungen von Ross hielten den Vergleich mit den vorher genannten Systemen derselben Künstler nicht mehr aus. Die Gläser von Ross haben ein besonders angenehmes Licht und bei starker Vergrösserung und grossem Gesichtsfeld einen sehr bequemen Focalabstand.

Von französischen Firmen ist blos Nachet erwähnenswerth, und auch dieser hatte nur schwache Vergrösserungen mit nach Amerika gebracht.

Von den vielen guten deutschen Mikroskopen war keines auf der Ausstellung, und es ist vor Allem zu bedauern, dass Hartnack nicht mit in die Concurrenz getreten war.

Plössl's Nachfolger, der sich bekanntlich in neuerer Zeit wieder mit grossem Eifer auf die Herstellung guter Linsensysteme verlegt, hatte zwar Mikroskope ausgestellt, doch waren zur Zeit, als die Jury ihres Amtes waltete, die entsprechenden Objectivlinsen noch nicht angelangt, so dass auch dieser einzige Vertreter der öster-

reichischen Mikroskop-Fabrikanten als ausserhalb der Concurrenz stehend betrachtet werden musste.

Trotzdem nach allem Vorangehenden nicht in Abrede gestellt werden kann, dass die Amerikaner es in der Verfertigung guter Mikroskope sehr weit gebracht haben, so ist doch, besonders in Anbetracht des hohen Preises der amerikanischen Mikroskope, für uns Europäer einstweilen noch kein Grund vorhanden, unseren Bedarf an Mikroskopen durch amerikanische Fabrikate zu decken. Vielmehr dürfte es der Erwägung werth scheinen, ob nicht trotz des ungemein hohen Eingangszolles und der grossen Ansprüche, die man in Amerika an die Stative macht, unsere Mikroskop-Fabrikanten mit den amerikanischen concurriren könnten.

Medicin.

Wie im Allgemeinen, so war auch in besonderer Beziehung auf die in Gruppe 24 eingereihten Gegenstände (Medicin, Chirurgie, Prothese) die Ausstellung in Philadelphia wesentlich eine amerikanische Ausstellung. Während die Besichtigung der von Amerikanern ausgestellten Gegenstände dieser Gruppe sehr vollständig über den Zustand der an die genannten Disciplinen anknüpfenden Industriezweige in Amerika belehrte, wäre es unmöglich gewesen, aus den über den Ocean geschickten und ausgestellten Waaren auch nur mit einiger Annäherung auf die entsprechende Industrie in den einzelnen europäischen Staaten zu schliessen. Demnach wird sich mein Bericht hauptsächlich mit der Ausstellung der Vereinigten Staaten und nur gelegentlich und nebenbei auch mit einigen europäischen Producten beschäftigen.

Alles dasjenige von medicinischem Apparat im weitesten Sinne des Wortes, was, in seiner Form zum Abschlusse gediehen, Gemeingut aller gebildeten Nationen ist, wird in den Vereinigten Staaten ebenso gut und sorgfältig, in vielen Fällen besser und sorgfältiger gearbeitet, als irgend anderswo. Der unter allen Umständen sehr hohe Arbeitslohn, den der Fabrikant bezahlen muss, und der ihn nöthigt, nach unserem Massstabe sehr hohe Preise für seine Waaren zu verlangen, macht es für ihn zu einem schlechten Geschäfte, andere, als sehr gute Arbeiter zu verwenden, andere als sehr sorgfältig ausgeführte Waaren zu produciren und anzubieten. Der hohe Arbeitslohn wirkt in dieser Beziehung ähnlich wie ein hoher Einfuhrzoll:

nur an sich werthvolle Waare verträgt ihn. Schlechtes Material zu chirurgischen Instrumenten zu verwenden, mag sich bei uns, wo der Werth des Materiales neben dem der Arbeit in Betracht kommt, in gewissen Fällen rentiren — in den Vereinigten Staaten ist der Preis der Arbeit so hoch, dass Niemand seine Rechnung dabei fände, der sie an schlechtes Material verschwenden würde.

Demnach ist der Stahl an den chirurgischen Instrumenten in Amerika durchwegs von der allerbesten Qualität. Diejenigen Bestandtheile von Instrumenten, welche aus Stahl gemacht sein müssen, ohne zum Schneiden bestimmt zu sein, und die beim Gebrauche häufig mit den Händen angefasst werden, sind grösstentheils vernickelt. Die Amerikaner haben bekanntlich eine grosse Geschicklichkeit darin, Metalloberflächen aller Art mit einem schönen und haltbaren Nickelüberzuge zu versehen. Andere solche Bestandtheile sind statt mit Nickel mit Hartkautschuk überzogen. Auf die Technik, Hartkautschuk mit Stahl so fest zu verbinden, gleichsam zu verschweissen, werde ich bei einer anderen Gelegenheit später noch zu sprechen kommen. Schildpatt und Elfenbein finden dort ungefähr dieselbe Verwendung wie bei uns. — Dass bei der Erfindungsgabe der Amerikaner und bei der grossen Bereitwilligkeit der Industriellen, den Werth irgend einer neuen, ihnen dargebotenen Idee durch den Versuch zu erproben, eine grosse Anzahl „neuer“ chirurgischer Instrumente ausgestellt war, versteht sich von selbst. Diese „neuen“ Instrumente sind in den seltensten Fällen wirklich neu, es sind meistens abgeänderte, verbesserte alte Formen. Besonders reich an neuen Instrumenten war die Ausstellung der Firma Geo. Tiemann & Co. in New-York. Dieselbe hatte eine grosse Anzahl zum Theil sehr ingeniöser neuer Instrumente für die chirurgische Behandlung der männlichen und weiblichen Geschlechtsorgane ausgestellt und ausserdem viele neue Instrumente aus anderen Theilen der Chirurgie. Eine eingehende Aufzählung und Beschreibung der ausgestellten Instrumente kann hier umsoweniger gegeben werden, als die Erfinder selbst ihre Instrumente in Fachjournalen zu beschreiben pflegen. Nur gelegentlich kann das eine oder das andere Stück hier beschrieben werden. Sehr hübsch ist eine neue Kettensäge, welche die Firma Tiemann & Co. ausgestellt hatte. Sie besteht aus einer grossen Anzahl kleiner ellipsoidischer Stahlperlen, die nach ihrer Längsachse durchbohrt und auf einen Clavierdraht aufgefasst sind. Jede der Perlen hat 6 bis 8 tiefe, scharfe, kreisförmige Querrinnen. An den beiden Enden des Clavierdrahtes sind bequeme Handhaben angebracht. Die Hauptvorzüge dieser biegsamen Säge bestehen in der

Einfachheit und relativen Billigkeit der Construction und darin, dass eine Drehung einzelner Glieder um ihre Längsachse durchaus ohne Einfluss auf den Sägeeffect ist. Ferner erregten besondere Aufmerksamkeit ein von derselben Firma ausgestelltes, sehr einfaches und hübsches Instrument zum Anlegen von serres fines in der Tiefe und eine Uterus-Sonde, an der vom äusseren Ende her die Grösse, und selbst der Sinn der Krümmung geändert werden konnte, ohne dass ein Punkt des Instrumentes aus der Krümmungsebene trat. Sowohl Tiemann als auch andere Firmen hatten zahllose Modificationen von Instrumenten ausgestellt, welche zum Zersprengen und Zerschneiden von Harnröhrenstricturen dienen. Neben Tiemann erregten die Firmen Teufel in Philadelphia und Gemrig, Philadelphia, durch gute Arbeit und geschicktes Arrangement der Instrumente in Etuis (letzterer besonders durch seine otiatrischen Bestecke) Aufsehen.

Es gibt kaum ein biegsames und zugleich haltbares Material, welches nicht von irgend einem amerikanischen Instrumentenmacher zur Herstellung von Bruchbändern verwendet würde. Neu ist die Anwendung des Celluloids (einer aus Nitrocellulose und Campher componirten, äusserst resistenten Substanz) zu diesem Zwecke. Die Celluloid-Bruchbänder sind schwer zu zerbrechen und werden durch chemische Agentien gar nicht angegriffen, doch macht man ihnen ihre leichte Entzündbarkeit zum Vorwurf, obwohl nicht einzusehen ist, wie ein Bruchband in die Gefahr kommen sollte, anzubrennen. Sehr zu Gunsten dieses Materials spricht seine Dauerhaftigkeit und Billigkeit. Penfield hatte solche Celluloid-Bruchbänder in eleganter Ausstattung ausgestellt.

Sehr vortrefflich ist die Combination von Stahl und Hartgummi, wie sie von Seeley in Philadelphia zur Herstellung von Bruchbändern verwendet wird. Das Stahlband ist mit einem ihm aufgeschweissten das heisst an allen Punkten geradezu untrennbar mit ihm verbundenen Ueberzuge von Hartgummi bekleidet. Soll die Spannkraft der Feder vergrössert oder verringert werden, so erwärmt man das Bruchband über einer Weingeistflamme bis auf die Temperatur, bei welcher der Hartgummi anfängt weich zu werden, rollt nun das Bruchband ein oder streckt es aus, je nach dem gewünschten Effect und lässt es in dieser Stellung erkalten. Für den Hartgummiüberzug ist diese Stellung nunmehr die Gleichgewichtslage, und das Bestreben des Hartgummis, in diese Lage zurückzukehren, wenn er in eine andere gebracht worden ist, addirt sich zu oder subtrahirt sich von der Spannkraft der Stahlfeder. Die Pelotte an diesen Bruchbändern ist hohl

und ganz aus Hartgummi. Sie lässt sich leicht, wenn sie etwas angewärmt ist, in jede dem augenblicklichen Bedürfniss entsprechende Form bringen.

An complicirten Bruchbändern, deren Pelotten durch Schrauben verstellbar und in jeder beliebigen Lage fixirbar waren, fehlte es nicht.

Eine sehr grosse Rolle spielten auf der Ausstellung die künstlichen Gliedmassen. Diese werden ja bekanntlich in Amerika in einem hohen Grade von Vollkommenheit hergestellt. Dass die künstlichen Arme und Hände viel weiter hinter den Leistungen ihrer natürlichen Vorbilder zurückbleiben als die künstlichen Beine, versteht sich bei der grösseren Mannigfaltigkeit ihrer virtuellen Bewegungen und der durch dieselben zu erreichenden Zwecke, gegenüber der fast einzigen Verwendung der Beine zur Fortbewegung von selbst.

Die Principien, welche bei der Fortbewegung mit natürlichen Beinen in Anwendung gebracht sind, werden soviel wie möglich für die Construction künstlicher Beine beibehalten. Aus der Vergleichung der Resultate, welche mit künstlichen Beinen, die nach verschiedenen Principien eingerichtet waren, erzielt wurden, geht der Satz hervor, dass ein künstliches Bein um so besser wirkt, je mehr die Principien, nach denen es wirkt, den von der Natur verwendeten ähnlich sind. Der Erfinder der künstlichen Beine ist Palmer aus Philadelphia. Er wurde durch den Verlust eines Beines auf die Idee der künstlichen Gliedmassen geführt und hat deren seit dem Jahre 1845 weit über 10,000 angefertigt. Die von ihm zuerst angewendete Construction wurde theils von ihm selbst, theils von Anderen vielfach abgeändert und verbessert.

Eine wesentliche Verbesserung in Bezug auf die Haltbarkeit ist in der Durchziehung ganzer Stahlachsen durch die beiden Winkelgelenke (Knie- und Sprunggelenk) zu erblicken. Das Kniegelenk wird durch eine Feder oder einen elastischen Strang gestreckt erhalten und ebenso das Sprunggelenk. Da bei den Wirbelthieren die die Gelenke bewegenden Muskelmassen um axial gelegene Knochen herumgelagert sind, und die Sehnen über die äusseren Oberflächen der Gelenke hinweglaufen, während bei den Insecten ein röhrenförmiges Chitinskelet durch innerhalb desselben angebrachte Muskeln bewegt werden soll, und die Muskeln und Sehnen bei diesen Thieren durch die Gelenke hindurch gehen, so ist ein künstliches Bein ohne weitere Uebertragung eigentlich mit einem Insectenbeine zu vergleichen.

Das Chitinskelet des Insectenbeines wird durch eine, die Form des verloren gegangenen Theiles des Beines wiederholende dünne, leichte und ungemein haltbare Holzschale repräsentirt, die stellenweise von Fenstern durchbrochen, durch Stahlstäbe verstärkt und mit einem hautfarbenen Ueberzug oder Anstrich versehen ist. Das genaue Anpassen an den Stumpf wird dadurch erreicht, dass der Stumpf in Gyps abgegossen, die so entstehende Hohlform wieder mit Gyps ausgegossen wird, und nun auf diesen positiven Abdruck des Stumpfes dünne Spähne eines äusserst festen Holzes in mehrere Schichten aufgelegt und zusammengeleimt werden. Bis vor kurzer Zeit war die Verbindung des Stumpfes mit dem künstlichen Beine während des Stehens ausschliesslich Sache der die Mantelfläche des Stumpfes überkleidenden Haut; hiedurch erreichte man erstens die Vertheilung der Last des Körpers auf eine grössere Hautoberfläche und zweitens vermied man dadurch einen directen Druck auf das die Endfläche des Stumpfes überziehende Integument. Man war nämlich allgemein der Ansicht, dass ein solcher directer Druck schmerzhaft sein würde, die Narbe reizen müsste und nicht lange würde ertragen werden. Gerade in dieser Richtung liegt aber einer der bedeutendsten Fortschritte in der Mechanik der künstlichen Gliedmassen. Man stelle sich einen Mann mit einem Oberschenkelstumpfe auf seinem künstlichen Beine stehend vor, welches er nur mit der Mantelfläche seines Stumpfes berührt; die ganze Last des Körpers wird vom Becken auf den Oberschenkelknochen übertragen, und dieser drängt nun mit seiner unteren Schnittfläche senkrecht abwärts gegen den Hautsack, welchen die freie Endfläche des Stumpfes repräsentirt, mit der ganzen Körperlast an. Die diesen Sack bildende Haut ist es also, welche beim Gehen alternirend die ganze Körperlast zu tragen hat und somit auf Dehnung und Spannung ungemein in Anspruch genommen wird.

Es ist nun ein unbestreitbares Verdienst Palmer's, dass er in letzter Zeit, den eben vorgebrachten Erwägungen Rechnung tragend, künstliche Beine anfertigte, bei denen die Last des Körpers wenigstens theilweise durch die Endfläche des Stumpfes auf das künstliche Bein übertragen wurde. Palmer bringt ein System von Quergurten im Innern des künstlichen Oberschenkels an, auf welchem direct oder durch Vermittlung eines Polsters der Stumpf aufruht, während er gleichzeitig mit seiner Mantelfläche die oberhalb des so hergestellten Diaphragmas liegenden Theile des künstlichen Oberschenkels von innen berührt. Die Amputirten gewöhnen sich in erstaunlich kurzer Zeit an eine derartige Belastung der Haut, und

es ist hierin gar nichts Wunderbares gelegen, wenn man bedenkt, dass ja im Allgemeinen Hautpartien ganz leicht den Druck der ganzen Körperlast ohne Schmerz auszuhalten vermögen; allerdings setzt eine derartige Application eine vollkommen regelmässige Narbe voraus.

Die künstlichen Beine sind durch eine Vorrichtung, welche das hintere Kreuzband des menschlichen Kniegelenks in seiner Wirkung zu ersetzen berufen ist, vor einem Einknicken nach vorne gewahrt. Doch lassen manche Fabrikanten einen ganz geringen Grad von Hyperextension zu, weil hiedurch das ruhige Stehen auf dem künstlichen Beine mit einem geringeren Grade von Aufmerksamkeit von Seite des Trägers erreicht werden kann, als wenn eben nur eine geradlinige Streckung des Beines stattfindet. — Die Anwendung der künstlichen Gliedmassen in Amerika ist eine sehr allgemeine und einen Stelzfuss oder Krücken sieht man dort nur ganz ausnahmsweise. Jeder Soldat, der im Kriege eine seiner Gliedmassen verloren hat, kann sich dieselbe von einem beliebigen Künstler auf Rechnung des Staates ersetzen lassen und kann nach je fünf Jahren das schadhaft gewordene künstliche Glied gegen ein neues auf Rechnung des Staates vertauschen. Palmer's künstliche Beine scheinen in Amerika vielfach für die besten gehalten zu werden, denn nach dem grossen Kriege mit den Südstaaten hatte er die meisten der abgeschossenen Beine zu ersetzen.

Die Jury wollte sich bei Beurtheilung der künstlichen Beine nicht blos nach den Resultaten einer Besichtigung oder probeweisen Belastung richten, sondern hatte mit den einzelnen Ausstellern das Abkommen getroffen, dass diese an bestimmten Tagen, soweit dies erreichbar war, Leute, welche von ihnen angefertigte künstliche Beine benützten, ins Berathungslocal der Jury brachten; hiedurch wurden wir in den Stand gesetzt, die Leistungsfähigkeit direct zu beurtheilen und zu vergleichen.

Das Resultat dieser Versuche war, dass die künstlichen Beine überhaupt Erstaunliches leisten. Wir täuschten uns sehr häufig in der Art, dass wir zu errathen suchten, welches von beiden Beinen eines vorgeführten Individuums das künstlich ersetzte sei, und dann erfuhren, dass beide Beine dieses Individuums aus Holz waren; oder so, dass wir einen im Berathungslocale Auf- und Abgehenden für den Begleiter irgend eines der herbeigebrachten Specimina hielten, während er sich später selbst als Specimen entpuppte.

Für die Festigkeit und Dauerhaftigkeit der künstlichen Beine mag auch noch die Bemerkung sprechen, dass die Träger derselben

im ganzen Lande wegen der gefährlichen Folgen der von ihnen ausgetheilten Fusstritte gefürchtet sind.

Der Preis eines solchen künstlichen Beines, wie es Palmer für Soldaten macht, beträgt 75 Dollars. Die Preise der von den übrigen Ausstellern beigebrachten Gliedmassen wichen nicht wesentlich von dem eben genannten ab. Dagegen sind die etwas eleganter ausgeführten künstlichen Beine allerdings beträchtlich kostspieliger (100 bis 150 Dollars).

Neben Palmer sind zu nennen: Marks (New-York), Condell & Son (New-York), Clement (Philadelphia), Wickett & Bradley (New-York), Foster (Philadelphia), Frees (New-York), Blank (Philadelphia), Everett (Philadelphia) und Kolbe.

Elektrotherapeutische Apparate waren nur in geringer Anzahl ausgestellt.

Die Einrichtung eines grossen „elektrotherapeutischen Tisclas“, wie sie von der Galvanofaradic Company in New-York, von Flemming und Talbot in Philadelphia, von Kidder und Anderen ausgestellt waren, lässt an Bequemlichkeit der Handhabung und Mannigfaltigkeit der Verwendung nichts zu wünschen übrig. Wenn auch gerade keine neuen Principien in Anwendung gebracht sind, so ist doch die Verwendung der bekannten zur Ein- und Ausschaltung von Gliedern der galvanischen Ketten, zur Neben- und Hintereinanderstellung beliebig vieler Elemente oder Elementengruppen, zur Einschaltung von Inductionsspiralen verschiedener Längen, von Widerständen verschiedener Beträge, zur Veränderung der Schlagfolge von Inductionsströmen, zur Variirung der Geschwindigkeit, mit welcher die Unterbrechung selbst stattfindet, von welch' letzterer ja die Form der secundären Stromcurve so sehr abhängt, eine ungemein sinnreiche und handliche. Um von den zahlreichen Unterbrechungen des Wagner'schen Hammers zu den viel weniger zahlreichen Unterbrechungen eines Rumkorff'schen Apparates überzugehen, braucht man nur einen Knopf am elektrischen Tisch zu verschieben. Hiedurch wird die Spitze der Contactschraube aus dem Bereiche der Neef'schen Feder entfernt und dem Rumkorff'schen Unterbrecher gegenüber gestellt, ohne dass sonst in den Constanten des Apparates irgend etwas verändert worden wäre. So hat es der Arzt in der Hand, von einem bis zu vielen Hunderten faradischer Ströme in der Secunde auf den Patienten wirken zu lassen.

Eine hübsche Methode, die Schwingungsdauer der Neef'schen Feder zu vergrössern, besteht darin, dass man den an ihr befestigten

Anker nicht auf die Pole des unterbrechenden Elektromagnets aufschlagen, sondern an diesen vorbeischwingen lässt. Es schwingt nämlich der Anker in einer Fläche, welche nicht normal sondern tangential zur Polfläche des Elektromagnets ist.

Ausserdem kann die Schwingungsdauer der Feder variirt werden dadurch, dass eine Gabel, zwischen deren Zinken sie schwingt, näher an ihr fixes oder an ihr freies Ende geschoben wird.

Die bei den stabilen Apparaten in Anwendung kommenden Ketten sind aus Leclanché'schen Elementen zusammengesetzt, während zu den transportablen Apparaten fast ausschliesslich die Bunsensche Combination ohne Diaphragma in der bekannten Chromflüssigkeit und mit einer Vorrichtung zum Ausheben der Zinkplatten versehen, zur Anwendung kommt.

Für galvanokaustische Zwecke sind eben solche Batterien in äusserst handlicher Form, etwa von der Grösse eines gewöhnlichen Cigarrenkistchens in Verwendung, bei denen eine grosse Oberflächenentwicklung der erregenden Platten mit einem ungemein geringen inneren Widerstande vereinigt ist. Letzterer wird auf ein so niedriges Mass herabgesetzt durch die Weglassung des Diaphragmas, und die hieraus resultirende grosse Inconstanz der Kette in Folge der an den Platten sich anhäufenden Polarisationsproducte wird corrigirt durch eigenthümliche Rührvorrichtungen (Agitatoren genannt). Diese sind nun nach verschiedenen Methoden eingerichtet: Die Platten sind von vielen kleinen Löchern durchbohrt, welche den Verkehr der Flüssigkeit zwischen den Platten mit der umgebenden Flüssigkeit erleichtern und es geht zwischen je zwei Platten je ein Zahn eines Kammes hinunter bis an den unteren Rand der Platten, welcher, oben angefasst und in horizontaler Richtung hin- und hergeführt, die Flüssigkeit zwischen den Platten in so lebhafte Strömung versetzt, dass von der Anhäufung irgend welcher elektrolytischer Producte an den Platten keine Rede sein kann. Oder: es wird vom Boden des Gefässes her ein Strom feinster Luftblasen, ähnlich wie der in Aquarien verwendete, durch die ganze Flüssigkeit getrieben und dadurch die besprochene lebhafte Bewegung in derselben hervorgebracht. Bei dieser Anordnung kann der Operirende selbst den Hitzegrad der galvanokaustischen Schlinge nach Belieben abstufen dadurch, dass er einen auf dem Boden liegenden Kautschukballon, welcher den Luftstrom für die Batterie liefert, intensiver oder weniger intensiv mit dem einen Fusse bearbeitet. Solche galvanokaustische Apparate waren ausgestellt von der Galvanofaradic Co., von Flemming & Talbot, Kidder, Byrne und Tiemann.

Pharmaceutische Producte.

Die Ausstellung pharmaceutischer Präparate bot in mancher Beziehung Interessantes. Die massenhaften Anhäufungen von Alkaloiden und ihren Salzen zu Pyramiden und Obelisken, welche alles auf anderen Ausstellungen in diesem Gebiete Geleistete weit hinter sich zurückliessen, gaben den besten Beweis dafür, dass weder die amerikanischen Aerzte noch deren Patienten zu den Nihilisten gehören. Ein etwa 5′ hoher Thurm von salzsaurem Morphin von etwa 4□′ Querschnitt, ein noch etwas grösserer Chininobelisk, prachtvolle Monstre-Ausstellungen von citronensaurem Eisen und einigen in der Pharmakopoe gebräuchlichen Doppelsalzen des Eisens erregten zumeist Erstaunen.

Von wirklicher Bedeutung waren aber die von vielen Seiten ausgestellten wahrhaft tadellosen Extracte.

William R. Warner & Comp. (Philadelphia), Hance Bro & White (Philadelphia), Campell (Philadalphia), Schiedt, Mc. Kissen & Robbin (New-York), Bean, Lewis (Philadelphia), Pfitzer (New-York), Powers & Weightmann (Philadelphia), Tilden & Comp. (New-Libanon, New-Jersey), Plauten & Son (New-York), White & Bro (Philadelphia), und noch viele andere hatten in dieser Beziehung ganz Vortreffliches ausgestellt.

Was die amerikanische pharmaceutische Technik hauptsächlich kennzeichnet, ist die Darstellung aller möglichen pharmaceutischen Präparate und Combinationen von Präparaten in bequemer, haltbarer und leicht transportabler Form, und zwar nach einer von den drei folgenden Methoden:

Die Medicinen werden, wenn sie flüssig sind, ebenso, wie dies auch bei uns gelegentlich geschieht, in Gelatinekapseln eingefüllt, nur mit dem Unterschiede, dass es kaum irgend eine erdenkliche flüssige Combination von Heilmitteln geben dürfte, welche man nicht in der ersten besten amerikanischen Apotheke fix und fertig und in Gelatinekapseln verfüllt antreffen würde.

Feste Medicamente werden entweder in Pillenform gebracht durch eine hochgradige Compression oder durch einen Ueberzug von Zucker, welcher so dicht und hermetisch schliesst, dass nicht nur keine Austrocknung von teigigen Medicamenten möglich ist, sondern Substanzen, welche durch atmosphärische Einflüsse im höchsten Grade verändert werden, selbst nach Jahren innerhalb ihrer Zuckerhülle noch in vollkommen unverändertem Zustande angetroffen wer-

den. So wird z. B. bekanntlich in Amerika der elementare Phosphor als Nervinostimulans vielfach verabreicht und wir haben Pillen aus der Fabrik von Warner & Comp. (Philadelphia), welche einen Phosphorteig in Zuckerhülse enthielten und schon seit langer Zeit fertig dalagen, zerdrückt und den Inhalt noch vollkommen unoxydirt angetroffen. Die Medicamente werden dann in kleinen Glasfläschchen, deren jedes 100 oder 500 Pillen enthält, verkauft. Der Preis eines Fläschchens mit 100 Pillen variirt je nach dem Werthe der darin enthaltenen medicamentösen Stoffe von 40 Cents bis zu 4 Dollars. So kostet z. B. bei Warner & Comp. eine Flasche mit 100 mit Zucker überzogenen Pillen, deren jede:

Pulv Aloes soccotr.	1/2	Gran (amerikanisch)
„ Zingiberis jam.	1	„
Ferri sulphur exsicc.	1	„
Extr. Conii	1/2	„

enthält, 40 Cents, 100 Pillen deren jede

Extr. Hyoscyam	2/3	Gran
„ Conii	2/3	„
„ Ignat Am.	1/2	„
„ Opii	1/2	„
„ Aconiti	1/3	„
„ Cannab. ind.	1/4	„
„ Strammonii	1/5	„
„ Bellad.	1/6	„

enthält, 2 Dollars, und eine Flasche mit 100 Pillen, deren jede 3 Gran Chinin. sulf. enthält, 4 Dollars; 100 Morphinpillen, jede zu 1/8 Gran, kosten 70 Cents.

Die Jury hat sich durch eine eigene Untersuchung von der Verlässlichkeit und Gleichmässigkeit der Dosirung in diesen Pillen überzeugt, und ausserdem habe ich durch die Verfolgung des Processes der Pillenbereitung in mehreren Fabriken die Einsicht gewonnen, dass in einer Pille, welche man in Amerika als eine 1/4-granige Morphinpille kauft, mit viel grösserer Genauigkeit 1/4 Gran Morphin enthalten ist, als in einem 1/4granigen Morphinpulver, welches irgend ein ungeschicktes Apothekersubject in einer europäischen Apotheke mischt. Diese grosse Zuverlässigkeit in der Dosirung wird dadurch erreicht, dass bei der Pillenfabrication sehr grosse Quantitäten der Ingredienzien abgewogen werden und diese dann durch mit Dampfkraft betriebene Rührvorrichtungen durch lange Zeit gemischt, sodann in einen Teig verwandelt und durch eine mechanische Vorrichtung in Pillen geformt werden, welche kugelrund sind, und nun durch eine Reihe von Sieben durchgehen. Nur

diejenigen, welche auf einem bestimmten Siebe zurückbleiben, werden dann weiter verwendet: nämlich mit Zucker überzogen; die Masse der Uebrigen wieder vereinigt und mit der nächsten analogen Pillenmasse weiter verarbeitet. Bei der Compression trockener Pulver zu harten Pillen, welche ohne Ueberzug zu je 100 Stück in einem gläsernen Fläschchen dispensirt werden, ist die absolute Correctheit der Dosirung durch die absolut gleiche Grösse der einzelnen Pillen und die jedesmalige Anwendung des gleichen Druckes garantirt. Unter den Fabrikanten von comprimirten Pillen nehmen Wyeth & Comp. (Philadelphia) den ersten Rang ein.

Die Fabrik von Hance Brothers & White beschäftigt sich mit der Darstellung von über 500 flüssigen und über 150 festen Pflanzenextracten und ausserdem mit der Combination derselben zu allen möglichen Getränken, Tincturen, Pillen, Stuhlzäpfchen, Weinen, Syrupen und Wässern.

Ausserdem fabriciren die amerikanischen Pharmaceuten massenhaft medicamentöse Getränke aller Art, unter denen natürlich viele kaum einen medicinischen Werth haben, andere dagegen, wie z. B. B. Brown's Ingwer-Essenz, Ergotin-Wein von Hance Brothers und viele andere, einen entschiedenen Werth haben.

Für Augenärzte werden dünne Gelatine-Lamellen, in ganz kleine Quadrate getheilt, fabricirt, welche Atropin oder Physostygmin in hinreichender Menge enthalten, um, in den Bindehautsack gebracht, Erweiterung oder Verengerung der Pupille hervorzurufen — eine auch bei uns schon ziemlich allgemein eingebürgerte Form der Application.

Eine besondere Erwähnung verdient die in einem eigenen Gebäude untergebrachte Ausstellung des amerikanischen Militärsanitätswesens unter dem Titel: „Hospital of the Medical Departement, United States Army“. Diese Ausstellung bestand aus mehreren Theilen. Einer davon war eine einfache Wiedergabe — in natürlicher Grösse — eines amerikanischen Garnisonsspitales. Da das stehende Heer der Vereinigten Staaten nur aus 25,000 Mann besteht und diese in Garnisonen über das ganze riesige Territorium verstreut sind, so versteht es sich, dass die einzelne Garnison nur aus ein paar Hundert Mann besteht, und dass das Garnisonsspital nicht mehr als 6 bis 24 Betten enthält. Nur ein einziges solches Spital im Westen hat 40 Betten. Die Krankenzimmer sind an sich nicht gross, aber im Verhältniss zu der Anzahl der in ihnen untergebrachten Betten sehr geräumig, und es ist für den Comfort der Kranken in jeder Hinsicht vortrefflich gesorgt. Das Zimmer des Arztes ist wahr-

haft luxuriös ausgestattet und hat vielmehr Aehnlichkeit mit dem Arbeitszimmer eines eleganten Gelehrten, als mit der Wohnstube eines Spitalarztes. Ungemein reich ist die Versorgung eines solchen kleinen Spitals mit chirurgischen Instrumenten, Verbandzeug und sonstigem Behelf aller Art. An die Apotheke stösst ein kleines chemisches Laboratorium für Harnuntersuchung u. dergl.

Im ersten Stock dieses Gebäudes war ein zweiter Theil der Ausstellung untergebracht: Proben aus dem grossen in Washington befindlichen United States Army Medical Museum. Dieses Museum ist eine ungeheure Sammlung von anatomischen, vergleichend anatomischen, pathologisch-anatomischen und histologischen Präparaten. Alle diese Sammlungen sind, jede für sich, ungemein reich und werthvoll und besonders die pathologisch-anatomische ist eine der schönsten Sammlungen der Welt; wenn auch in manchen Gebieten noch sehr grosse Lücken vorhanden sind, so sind andererseits andere Gebiete (Knochenkrankheiten, Darmkrankheiten) sehr vollständig und durch ganz prachtvolle Specimina vertreten. Die einzelnen Präparate sind sehr gut aufgestellt, das ganze Museum in Washington aber in viel zu kleinen Räumen untergebracht. Die beiden Militärärzte Otis und Woodward haben sich um das Museum die grössten Verdienste erworben und die pathologisch-anatomischen und histologischen Präparate, sowie die Mikrophotographien vom Assistent-Surgeon J. J. Woodward U. S. A. sind ganz vortrefflich.

Ich habe schon auf die Kleinheit des Heeres der Vereinigten Staaten hingewiesen und auf die geringe Aufgabe, die das Militärsanitätswesen Amerikas im Frieden zu lösen hat. Seine Hauptaufgabe besteht demnach in Wirklichkeit darin, für den Kriegsfall bereit zu sein, und mit dem Nachweis dieser Kriegsbereitschaft beschäftigte sich ein dritter Theil der Ausstellung. Da waren zunächst äusserst sauber gearbeitete Modelle von Eisenbahnwagen, welche deren Adaptirung für kriegschirurgische Zwecke veranschaulichten. Die grossen, nicht in Coupés abgetheilten Wagen der amerikanischen Eisenbahnen eignen sich sehr gut für die Anbringung jeder beliebigen Einrichtung in ihrem Inneren. Die Modelle bezogen sich auf Einrichtungen, welche grösstentheils während des letzten amerikanischen Krieges benützt worden sind. Es waren die Wagen der Cumberland-Armee und der Potomac-Armee durch Modelle vertreten und auch jene nach Grund's System für den Krankentransport hergerichteten Lastwagen, welche von der preussischen Commission im Jahre 1868 angenommen wurden. Ferner waren Modelle von Feldlazarethen ausgestellt, zahlreiche Systeme von Wagen zum Krankentransport, Medicinwagen,

endlich Modelle von Dampfschiffen, welche zum Massentransport Verwundeter hergerichtet waren und die ebenfalls im grossen Kriege vielfach verwendet wurden. Da ich selbst in diesen Dingen so wenig Fachmann bin, so kann ich mich nur auf das bewährte Urtheil meines verehrten Collegen in der Jury, des Herrn Generalarztes der sächsischen Armee Dr. W. Roth aus Dresden berufen, welches ein für diese Ausstellung des amerikanischen Militär-Sanitätswesens äusserst günstigs war.

Von anderen Staaten hatte nur noch Deutschland kriegschirurgische Gegenstände und Modelle zur Ausstellung geschickt, die ich aber blos erwähne, erstens weil dieselben schon auf der Wiener Weltausstellung zu sehen waren, und zweitens weil sich dieser Bericht auf specifisch amerikanische Ausstellungsgegenstände so viel wie möglich zu beschränken hat. Dass von der verhältnissmässig reichen amerikanischen Ausstellung von zahntechnischen Gegenständen hier nicht die Rede war, findet seine Begründung in meiner sehr geringen Vertrautheit mit der dentistischen Branche des ärztlichen Wissens. — —

Der von Diplomirten und nicht Diplomirten ausgeübte ärztliche Humbug ist in Amerika in einem Grade entwickelt, welcher den Neid manches europäischen industriösen Genies erwecken kann. Medicinen und Heilmethoden aller Art sind nicht nur in Zeitungen vielfach annoncirt, sondern die Annoncen bedecken auch die Wände der Häuser, ja sogar hervorragende Punkte der Landschaft mitten im Gebirge, und es ist nicht möglich, eine Reise durch Amerika zu machen, ohne vor dem Annoncirungstalent des Erfinders eines gewissen Gurgelwassers u. s. w. den grössten Respect zu bekommen.

Das aber mag anmerkungsweise hier seinen Platz finden, dass eine so cynische und widerliche Annoncirung von Aerzten, welche sich mit der Behandlung venerischer Krankheiten abgeben, wie sie die letzten Seiten unserer Tagesblätter zu füllen pflegen, trotz des grossen Humbugs und der grossen Gewinnsucht der Amerikaner, dort nicht stattfindet.

Zum Schlusse noch ein Wort über die amerikanischen Aerzte: von den Leuten, welche sich in Amerika Aerzte nennen, hat im besten Falle der dritte Theil jemals auf einer Bank in einem medicinischen Collegium gesessen oder einen klinischen Krankensaal betreten; selbst diejenigen, welche medicinische Studien durchgemacht haben, haben im Durchschnitt nicht mehr als 1 bis $1^1/_2$ Jahre darauf verwendet. Allerdings gibt es in Amerika nicht viele medicinische Schulen, welche die Mühe, sie zu besuchen, einigermassen verlohnen,

aber in den Hauptstädten der östlichen Staaten existiren immerhin einige ganz gute medicinische Schulen und an diesen werden auch tüchtige Aerzte herangebildet; nur steht eben ihre Zahl in keinem Verhältniss zur Population und vor Allem zur Ausdehnung der Vereinigten Staaten. Wer je für das System geschwärmt hat, das Recht der Ausübung ärzlicher Praxis unabhängig von der Erlangung akademischer Grade zu machen, und somit freizugeben, der kann sich von dieser Ansicht auf keine eindringlichere Weise befreien, als wenn er die ärztlichen Verhältnisse Amerikas, welche ein Resultat dieses Systems sind, mit eigenen Augen betrachtet. Von einer Auswahl, die das Publicum selbst trifft und welche berufen wäre, die Auswahl, die sonst der Staat durch seine Examina trifft, zu ersetzen, ist dort nicht sehr viel zu bemerken. Obwohl man den Amerikanern im Uebrigen praktischen Sinn nicht abzusprechen pflegt, sind sie doch bis jetzt mit dem Heer von Aerzten, welches ihnen gegenüber steht, in keiner Weise fertig geworden. Die Quacksalberei besitzt dort Dimensionen, von denen man sich bei uns nichts träumen lässt. Nur in unmittelbarer Nähe der Universitätsstädte ist eine Spur von akademischer Anschauung im besseren Theile des Publicums verbreitet, überall sonst unterliegt der Durchschnittsarzt dem Durchschnittsquacksalber.

Ueber das sogenannte Gedankenlesen.

(Antwort auf einen Brief des Redacteurs der Wiener Medicinischen Wochenschrift, 1884, Nr. 10.)

(Von einer Erörterung der Productionen des Herrn Cumberland sehen wir hier ab; der mit einem solchen Aufwande wissenschaftlicher Terminologie geführte Erklärungsversuch des Herrn Prof. Simony hat uns jedoch veranlasst, das Urtheil einer der speciell auf diesem Gebiete der Physiologie berufensten Autoritäten einzuholen, damit nicht das Schweigen von Seite der wissenschaftlichen Fachorgane als Zustimmung gedeutet werden könne. Wir haben uns daher an Herrn Prof. E. v. Fleischl mit dem Ersuchen gewendet, er wolle uns seine Ansicht über die Simony'sche Erklärung mittheilen.

Herr Prof. v. Fleischl hat unserem Wunsche in liebenswürdiger Bereitwilligkeit durch das nachstehende Schreiben entsprochen:)

„Geehrter Herr Redakteur! Ueber die Dinge, um die Sie mich in Ihrem geehrten Schreiben gefragt haben, habe ich grösstentheils kein Urtheil, ja ich habe von der Existenz vieler derselben nicht einmal eine Kenntniss gehabt. Einzelne von Ihren Fragen jedoch kann ich wenigstens theilweise beantworten. Von Drüsen, Muskeln, Nerven und Sinnesorganen ist es allerdings experimentell erwiesen, dass mit ihrer physiologischen Thätigkeit eine Electricitätsentwicklung, respective eine Intensitätsschwankung in ihnen vorhandener electrischer Ströme verbunden ist. Experimente jedoch, welche eine Electricitätsentwicklung im Gefolge von Bewusstseinsvorgängen nachweisen, sind bis jetzt nicht bekannt geworden.

Was ferner die Induction electrischer Ströme im Gehirne einer zweiten Person anlangt, electrischer Ströme, welche inducirt werden durch Stromschwankungen, die mit den Bewusstseinsvorgängen im Gehirne einer ersten Person einhergehen und welche analoge Bewusstseinsvorgänge in dieser zweiten Person hervorrufen, so ist nach

den bekannten Gesetzen der electrischen Induction eine derartige Muthmassung aus folgenden Gründen nicht zulässig.

Eine gegebene Stromschwankung in einem ersten Leiter bedingt in einem zweiten Leiter einen inducirten Strom, dessen Richtung und Stärke abhängt, ausser von den Constanten des ersten Stromes und von den Dimensionen und dem Leitungsvermögen des zweiten Leiters, von der Entfernung beider Leiter voneinander, von der Diëlectricitätsconstante der diese Entfernung ausfüllenden Körper und endlich — worauf ich ein besonderes Gewicht legen möchte — von der Lage der beiden Leiter gegeneinander.

Von zwei einander parallelen Drähten inducirt der eine auf den anderen mit einer gewissen Stärke; je grösser der Winkel wird, den beide Drähte mit einander bilden, desto geringer ist die Inductionswirkung des einen auf den anderen. Stehen sie aufeinander senkrecht, so induciren sie gar nicht aufeinander.

Stellen Sie sich nun, geehrter Herr College, einen präsumtiven Gedankenstrom in einer Gehirnfaser eines Menschen vor, und neben diesem ersten Menschen einen zweiten mit dem ganzen unabsehbaren Gewirre seiner zahllosen Gehirnfasern. Stellen Sie sich letztere hinreichend voneinander electrisch isolirt vor und nehmen Sie endlich auch noch an, dass die Inductionswirkung des Stromes in der Gehirnfaser der ersten Person auf die Fasern im Gehirne der zweiten Person hinreichend stark sei, um einen Effect hervorzubringen, so werden Sie nach dem oben Gesagten leicht einsehen, dass der Inductionsstrom in einer bestimmten Gehirnfaser dieser zweiten Person ganz und gar von der Lage der beiden Köpfe gegeneinander abhängen muss, und dass bei jeder anderen Stellung der beiden Köpfe gegeneinander immer andere Schaaren von Hirnfasern eine verhältnissmässig starke Inductionswirkung erfahren und immer andere Schaaren der Inductionswirkung vollständig entzogen werden, dass also die in der zweiten Person angeregten Bewusstseinsvorgänge nicht von dem Gedanken der ersten Person, sondern hauptsächlich von der zufälligen Stellung beider Personen gegeneinander abhängen würden.

Ich habe bei dieser ganzen Betrachtung die absolute Stärke der inducirten Ströme, welche eine wirklich verschwindende ist, und neben welchen die Ströme, welche in das Gehirn eines Menschen inducirt werden, der sich in der Nähe einer Dynamomaschine befindet, kolossal stark sind, ganz ausser Acht gelassen und mich, um nur überhaupt auf Ihre Frage eine Antwort geben zu können, auf eine Anschauungsweise eingelassen und Voraussetzungen zugelassen,

welche — gelinde gesagt — phantastisch sind. Das aber werden Sie mir hoffentlich nicht zumuthen, dass ich mich auf die Erörterung der Consequenzen einlasse, welche aus der Annahme folgen würden, bestimmte Leiter hätten eine besondere Fähigkeit, von solchen electrischen Strömen inducirt zu werden, welche in bestimmten anderen, etwa ihnen gleichen oder analogen oder gleichgestimmten Leitern ablaufen.

Ich hoffe, Sie nehmen es mir nicht übel, wenn ich auf die Beantwortung der übrigen mir vorgelegten Fragen gar nicht eingehe: Ich halte das Herausfinden der von verschiedenen Taschenspielern ihren Kunststückchen zu Grunde gelegten Tricks für keine Aufgabe der Wissenschaft und bin auch der Meinung, dass man einen guten Spass nicht zu ernst nehmen soll.

Genehmigen Sie, geehrter Herr Doktor, den Ausdruck meiner Hochachtung und Ergebenheit.

Wien, 7. März 1884.

Prof. Ernst v. Fleischl."

Eine literarische Ehrenpflicht.

Mahnruf an alle deutschen Collegen.

(Aus dem Centralblatt für die medizinischen Wissenschaften 1885, No. 20.)

Die Gesammtheit der medicinischen Gelehrten, und vor Allen die deutschen ärztlichen Forscher stehen im Begriffe, sich einer kaum glaublichen, höchst bedenklichen Unterlassung schuldig zu machen, und ein schlechtes Licht auf die Intensität und Aufrichtigkeit ihres literarischen Bedürfnisses und Interesses zu werfen.

Da ich von der Ueberzeugung durchdrungen bin, dass die Unehre, welche auf uns zu fallen droht, in Wirklichkeit durchaus nicht verdient ist, sondern auf eine, an sich allerdings auch tadelnswerthe Unkenntniss zurückzuführen ist, so bitte ich die geehrte Redaction dieses Blattes um die Erlaubniss, mich mit einigen aufklärenden Worten an den Kreis seiner Leser wenden zu dürfen.

Mit dem Jahre 1880 sind zwei medicinisch-literarische Unternehmungen von geradezu unschätzbarem Werthe ins Leben getreten.

Die eine davon ist unabhängig von der äusseren Betheiligung, und ein grossartiges, bewunderungswürdiges Ehrendenkmal, ein Geschenk der amerikanischen Nation an die Gelehrten und Aerzte aller Völker. Unter dem bescheidenen Titel eines Cataloges der medicinischen Bibliothek des Kriegsministeriums in Washington ist in Wirklichkeit ein vollständiges Literaturverzeichniss aller Zeiten und Völker verborgen, welches alle Bücher, Monographieen, Journalartikel, die je über einen, mit Medicin irgend zusammenhängenden Gegenstand publicirt wurden, unter dem Namen des Gegenstandes und alle Schriften jedes Autors unter dem Autornamen anführt, wobei die Namen der Themata und Autoren promiscue alphabetisch angeordnet sind. Das ganze Werk, an welchem ein Bureau von 12 bis 20 Arbeitern unter der Leitung von Dr. Billings seit mehr als 12 Jahren arbeitet, dürfte 18 bis 22 Quartbände anfüllen, von denen

bis jetzt 5 erschienen sind, jeder über 1000 Seiten stark. Die Aufzählung der Namen der Journale, Archive, und übrigen periodischen Organe, welche hierbei berücksichtigt sind, füllt allein 126 eng gedruckte Quartseiten.

Dieses unschätzbare Werk ist nicht käuflich, sondern wird von der amerikanischen Regierung allen öffentlichen Bibliotheken geschenkt. Ausserdem aber werden einzelne, der amerikanischen Regierung bekannte Gelehrte und Aerzte, sowie ärztliche Bibliotheken damit beschenkt, und keine Bibliothek dürfte sich vergeblich mit der Bitte um dieses Werk nach Washington wenden.

Das zweite Unternehmen geht von demselben arbeitsfrohen Billings aus, welcher der eigentliche Schöpfer und Hauptbearbeiter des ersten ist.

Dieses zweite Unternehmen führt den Titel „Index Medicus“, und ist ganz in der Art des grossen Cataloges angelegt, und eigentlich eine Fortsetzung desselben vom Abschluss der einzelnen Bände an; zugleich aber natürlich ein absolut vollständiges Verzeichniss der neuen medicinischen Literatur. Es erscheint in 12 Monatsheften und einem 13. Indexhefte alle Jahre, und ist mit keiner Publication um mehr als 2 Monate im Rückstande. Selbstverständlich sind alle theoretischen Fächer mit derselben Ausführlichkeit behandelt, wie die praktischen.

Mit dem Schlusshefte des vorigen Jahrganges nun wurde die Nachricht ausgegeben, dass der Index Medicus mit dem Jahrgange 1884 zu erscheinen aufhöre — und zwar wegen Mangel an Abonnenten. Der Preis war ursprünglich, in der Hoffnung auf eine gewisse Abnehmerzahl, auf 3 Dollars im Jahre gesetzt, und musste später auf 6, zuletzt auf 10 Dollars im Jahre erhöht werden.

Durch die Nachricht von dem Aufhören dieses geradezu unentbehrlichen Literaturbehelfes erschreckt, frug ich brieflich bei dem mir persönlich bekannten Herrn Dr. Billings wegen der näheren Umstände an, und erfahre aus seinen Antworten die folgenden, beschämenden Thatsachen.

Die beiden Herausgeber, Dr. Billings und Dr. Fletcher, haben von jeher die enorme Arbeit, welche der „Index Medicus“ erfordert, ohne irgend eine Entschädigung, ganz unentgeltlich geleistet. Trotzdem hat der bisherige Verleger nie weniger als 1000 Dollars im Jahre an dem Unternehmen verloren.

Und die einfache Ursache davon ist: Der „Index Medicus“ hat in Frankreich 6, in Oesterreich 7, in Deutschland 9, in Italien 6, in England 34, und in den Vereinigten Staaten 320 Abonnenten.

Herr Dr. Billings meint, es seien eben auf der ganzen Erde nicht 500 Menschen, für die ein solches Werk Bedürfniss wäre. Das kann doch nicht wirklich so sein!

Zum Theil veranlasst durch meine dringenden Vorstellungen, und durch meine Zusage, nach Kräften für das Gedeihen und die Verbreitung des „Index Medicus“ zu sorgen, hat der unermüdliche Billings, da der frühere Verleger gestorben ist, einen neuen Verleger zur Forführung des Verlages vermocht, und es erscheint also im Jahre 1885 der „Index“, zunächst noch um den (an sich gar nicht übermässigen) Preis von 10 Dollars, bei einigem Gedeihen aber, schon vom nächsten Jahre an um einen sehr beträchtlich niedrigeren Preis.

Durch Herrn Dr. Billings Güte bin ich mit einer Anzahl älterer Nummern versehen, welche ich gerne bereit bin auf Verlangen zuzusenden.

Aber ich möchte an die deutschen Collegen die Aufforderung richten, sich in ihrem eigenen, und im Interesse dieses wichtigen Unternehmens, auf den „Index Medicus“ zu abonniren, seine Anschaffung in Bibliotheken zu veranlassen, und auf Collegen in diesem Sinne einzuwirken. Auch bin ich bereit, die Bestellung des „Index Medicus“ zu übernehmen, und jede erwünschte Auskunft zu ertheilen.

Was mich zu solcher persönlichen Vermittelung, sowie zur Veröffentlichung dieses Mahnrufes veranlasst, ist ausschliesslich die Ueberzeugung, dass wir es als Ehrensache ansehen müssen, dass ein so nützliches und uneigennütziges Unternehmen nicht untergehe — aus Mangel an Betheiligung.

Wien, 28. April 1885.

Gutachten.

betreffend die Frage 1) nach der Grausamkeit, mit welcher die Ausführung der im israelitischen Speise-Ritual enthaltenen Vorschriften für die Abschlachtung von Thieren („das Schächten") verbunden ist;

weiters die Frage 2) nach dem Einfluss auf die Qualität des Fleisches als Nahrungsmittel, den gewisse Nachtrags-Manipulationen zum „Schächt-Schnitte" haben sollen;

endlich die Frage 3) nach der Bedeutung dieser selben Nachtrags-Manipulationen für die Verminderung der Grausamkeit des ganzen Verfahrens.

Über Auftrag des Herrn Provinzialrabbiners Dr. M. Cahn in Fulda erstattet von Dr. med. Ernst Fleischl von Marxow, k. k. a. ö. Professor der Physiologie an der Wiener Universität.

In den letzten Tagen des verflossenen Jahres wurde ich von dem Herrn Provinzialrabbinner in Fulda, Dr. M. Cahn, brieflich aufgefordert, ein wissenschaftliches Gutachten von physiologischem Standpunkte aus über die in den rituellen Speise-Gesetzen der Israeliten enthaltenen Vorschriften für das Abschlachten von Thieren zu erstatten, und speciell darüber mich auszusprechen, ob der vorschriftsmässige, die grossen Blutgefässe des Halses quer durchtrennende Schnitt, der sogenannte „Schächt-Schnitt" eine Grausamkeit involvire, welche durch gewisse nachträglich vorzunehmende Manipulationen (Schlag auf den Schädel, Genick-Stich) beseitigt oder doch vermindert werden könne.

Um dem, von Herrn Dr. M. Cahn geäusserten Wunsche zu entsprechen, beantworte ich die einzelnen, mir von ihm vorgelegten Fragen in folgendem

Gutachten.

1) Wie den Physiologen aus zahllosen Beobachtungen und Versuchen bekannt ist, erlischt das Bewusstsein, und somit auch die Fähigkeit, einen Schmerz zu empfinden, bei den warmblütigen Thieren mit der Unterbrechung der Circulation arteriellen Blutes in den Gefässen des Gehirnes. Hierauf beruht unter Anderen auch die in manchen Staaten, (England, Oesterreich-Ungarn, u. s. w.) vorgeschriebene Vollziehung der Todesstrafe durch Aufhängen der Delinquenten an einem Galgen mittels eines in Form einer Schlinge um den Hals gelegten Strickes. Hierbei wird das Leben, und lange Zeit vor diesem, das Bewusstsein des Hinzurichtenden aufgehoben — nicht conform einer sehr allgemein verbreiteten Meinung durch Erstickung in Folge der Compression der Luftwege, sondern — durch die Verschliessung der grossen am Halse ziemlich oberflächlich verlaufenden Blutgefässe. Selbst wenn in vereinzelten Ausnahmsfällen die grossen Halsschlagadern (Artt. carotides) nicht bis zur gänzlichen Vernichtung ihres Lumens zusammengedrückt werden, so findet dies doch ausnahmslos an den grossen Blutadern des Halses (Venae jugulares comm.) statt; und da somit wenigstens die Rückflussbahnen für das Blut unwegsam und verschlossen sind, so bewirkt eben dieser absolut regelmässig eintretende Zustand an und für sich schon binnen weniger Secunden eine Anstauung und totale Stockung des Blutes in den Adern und Capillar-Gefässen des Gehirnes und dann, wenn nach Ablauf von abermals nur wenigen Secunden der Sauerstoffvorrath dieses Blutes aufgebraucht ist, tritt völlige und andauernde Bewusstlosigkeit ein.

Ich wähle aus zahlreichen Erfahrungen, welche Alle das gleiche erwähnte Verhalten bestätigen, die eines bekannten französischen Forschers aus, um sie hier zu erwähnen. Derselbe entschloss sich, seinen schönen, grossen und sehr intelligenten Hund, den er schon seit geraumer Zeit besass, und der ihm ungemein zugethan war, zu opfern, um sich von der Abhängigkeit nicht bloss des Wahrnehmungsvermögens, sondern auch der sogenannten höheren psychischen Functionen die man gemeinhin als Fähigkeiten, wie z. B. des Verstandes, Gemüthes u. s. w. ansieht, von dem Vorhandensein eines arteriellen Blutstromes im Gehirne nachzuweisen. Zu diesem Behufe wurde zunächst das Blut eines anderen Hundes, um es gerinnungsunfähig zu machen, durch Schlagen mit hölzernen Stäbchen defibrinirt, und dann in einem geeigneten Behältniss auf einer der normalen Blutwärme des Hundes entsprechenden Temperatur und, durch

Schütteln mit Luft in dem arteriellen Zustande erhalten, bis zum Augenblick, in welchem es verwendet werden sollte. Nun wurde dem ersterwähnten Haushund mit einem kräftigen Streich der Kopf abgeschlagen, und es wurden in die an der Schnittfläche zu Tage liegenden Lumina der beiden Carotiden schleunigst Canäle eingebunden, die durch Röhren mit dem das defibrinirte Blut des anderen Hundes enthaltenden Gefäss in Verbindung standen. Sowie das warme arterielle Blut, welches durch die Canäle eingeleitet wurde, im Gehirne des vom Rumpf abgetrennten Kopfes zu circuliren begann, belebten sich die bereits erschlafften Züge des Hundekopfes, die Augendeckel hoben sich, und als nun der Herr des Hundes vor den Kopf hintrat, folgten die Augen den Bewegungen desselben, die Mienen des Kopfes bewiesen auf's deutlichste, dass der Kopf den Herrn erkannte und sich über seine Anwesenheit freute, u. s. w. Sowie man mit dem Drucke, der das Blut durch die Gefässe des Kopfes trieb, nachliess, begann dieser „zu sterben", der „Blick" der Augen, ihr intelligenter Ausdruck, das Mienenspiel, welches die auf den Herrn gerichtete Aufmerksamkeit des Hundekopfes verrieth, — Alles dieses erlosch augenblicklich, um nach Wiederherstellung des künstlichen Blutkreislaufes gleichfalls wieder einzutreten.

Da also beim „Schächten" wenige Secunden nachdem der Halsschnitt vorgenommen ist, das Bewusstsein, und mit ihm die Fähigkeit, Schmerz zu empfinden, vollständig und für immer erlischt, kann weder der ganze Vorgang als ein grausamer bezeichnet werden, noch ist es möglich, die ihn begleitenden Schmerzempfindungen durch eine Nachtrags-Manipulation zu vermindern — wenn nicht diese letztere in der Application eines wuchtigen Hiebes auf den Schädel ganz unmittelbar nach der Ausführung des Halsschnittes bestehen soll. Was von einem solchen Verfahren aber in der That zu erwarten wäre, wird in der Beantwortung der dritten Frage erörtert werden. —

2) Was die Qualität des Fleisches anlangt, so traue ich mir kein Urtheil zu darüber, ob diese im Allgemeinen, oder hinsichtlich einer bestimmten Rücksicht, durch den einen oder den anderen Vorgang beim Abschlachten, in dem einen oder dem anderen Sinne beeinflusst werde. Es ist mir wohl bekannt, dass hierüber ganz bestimmte Anschauungen bestehen; auch kenne ich die physiologische Argumentation, auf welche dieselben sich berufen, bin jedoch — wie gesagt — nicht in der Lage, derselben beizupflichten, ebensowenig wie ich mich berufen fühle, ihr entgegenzutreten. Ich will nur bemerken, dass eine Durchtrennung des verlängerten Markes

(medulla oblongata), wie sie bei richtiger Ausführung des „Genickstiches“ stattfindet, die Entblutung des Thieres ungemein befördert, und viel vollständiger werden lässt, als sie unter irgend welchen anderen Bedingungen werden könnte, doch hat diese letztere Bemerkung keine Beziehung zu der hier zu erörternden Frage, da gewiss nicht daran gedacht werden darf, dass diese Ausführung des „Genickstiches“, welcher bei allen in Betracht kommenden Thieren sehr erhebliche Schwierigkeiten technisch-anatomischer Natur, und zwar bei jeder Species andere Schwierigkeiten entgegenstehen, jemals in solcher Vollkommenheit werde zum Gemeingute des mit dem Schlachtungs-Acte betrauten Personals gemacht werden können, dass dieses den in Rede stehenden „Genickstich“ hinlänglich rasch nach dem Halsschnitte anzubringen, und mit einer solchen Gewandtheit und Präcision, und dabei so geschwind zu vollziehen fähig würde, dass sowohl die oben — ex non concessis — ins Auge gefasste nützliche Wirkung desselben auf die grössere Vollständigkeit der Entblutung sich geltend machen könnte, als auch eine directe Verletzung des Principes ausgeschlossen bliebe, aus welchem ja die ganze Massregel erwogen und beurtheilt werden muss, nachdem sie eben zu seiner Bethätigung zu dienen bestimmt wäre: ich meine, dass es über jeden Zweifel sicher gestellt schiene, dass dem Thiere mit diesem „Genickstich“ statt einer Verminderung respective Abkürzung des Schmerzes, nicht vielmehr binnen der wenigen Secunden nach dem Halsschnitt, während deren es eine solche überhaupt noch zu empfinden vermag, eine arge und zwecklose Grausamkeit zugefügt werde. Was die Frage nach der Einwirkung der andern namhaft gemachten Nachtrags-Manipulation (des Schlages auf den Schädel) auf die Qualität des Fleisches der in solcher Weise erst „geschächteten“ und hierauf erschlagenen Thiere anlangt, so genügt der Hinweis auf die zu Beginn der Alinea 2) von mir abgegebene Erklärung über meine Stellung zu der allgemeinen Frage, welche sich auf die Qualität des Fleisches bezieht, um daraus entnehmen zu können, welche Antwort ich auf die specielle Frage zu geben vermag. —

3) Die dritte Frage, welche auf die Abkürzung, allgemein, die Verringerung des Schmerzes gerichtet ist, findet, insoferne sie speciell die Folgen des „Genickstiches“ angeht, ihre Beantwortung bereits in den, über diesen Act und seine Folgen im vorhergehenden Absatze niedergelegten Ansichten. Die dort vorgebrachten Bedenken wegen der schwierigen und heiklen Technik des „Genickstiches“ finden nun freilich keine Anwendung auf die Ausführbarkeit einer so einfachen

Handtierung, wie ein Schlag mit einem schweren Hammer oder Beile auf den Kopf eines Thieres eine ist — wenn sie an und für sich, isolirt betrachtet wird. Hier stehen jedoch die Dinge anders! Der Streich mit dem Hammer (und selbstverständlich auch der Schnitt durch das Halsmark) hat, wenn die beabsichtigte Wirkung überhaupt noch Zeit finden soll einzutreten, in unmittelbarstem zeitlichem Anschlusse an den vorausgegangenen Halsschnitt stattzufinden; und durch diese Einschränkung wird die scheinbare Leichtigkeit der Ausführung auch für den Kopfschlag wieder sehr in Frage gestellt. Denn unmittelbar nach der Führung des „Schächt-Schnittes" dürfte sich im Allgemeinen der Schädel des „geschächteten" Thieres keineswegs in einer, für die Application eines wuchtigen Hiebes günstigen Lage vorfinden. Die Manipulationen an einem solchen Thiere, welche erforderlich werden, um seinen Kopf in eine solche günstige Lage zu bringen, haben nun aber nach meiner Meinung die Bedeutung von ebensovielen, dem sterbenden Thiere zugefügten Grausamkeiten — leiten also ihren Zweck durch eine Reihe, demselben genau entgegengesetzt zuwider laufender Handlungen ein. Endlich möchte ich noch zu bedenken geben, dass die Hast der beginnenden Vorbereitungen für eine noch rechtzeitig eintreffende Nachtragshandlung im Allgemeinen die Folge für das zu tödtende Thier haben wird, dass die erste Manipulation, der „Schächt-Schnitt" nicht mit der gehörigen Umsicht und Vorsicht und Ruhe ausgeführt werden wird, welche ganz unzweifelhaft die erste und wichtigste Bedingung darstellt für die Vermeidung von Grausamkeiten an dem Thiere. Wer den Hergang bei ähnlichen Anlässen und Vorfällen, bei denen es auf die Concentrirung der Aufmerksamkeit auf einen einzelnen Augenblick ankommt, einigermassen kennen zu lernen, Gelegenheit gehabt hat, der wird mir ganz gewiss beistimmen, wenn ich in der Erwartung einer zweiten, an den Halsschnitt so unmittelbar anzuschliessenden Operation ein Moment erblicke, welches im Allgemeinen dem zu tödtenden Thiere keineswegs zum Vortheile gereicht, sondern dasselbe vielmehr einer Reihe neuer Grausamkeiten aussetzt, welche aus der schleuderischen unaufmerksamen Art der Ausführung der ersten Operation, wie sie unter solchen Umständen sicher zu gewärtigen wäre, hervorgehen. —

Nach den, im Obigen dargelegten Ausführungen kann von mir wohl kaum mehr eine andere endgiltige Aeusserung über die mir zur Begutachtung anvertraute Angelegenheit erwartet werden, als eine,

die Aufrechterhaltung der bisher geltenden Bestimmungen und Gepflogenheiten anempfehlende, die sich etwa in folgende Worte einkleiden liesse:

Gerade ein Physiologe, den die Methode seiner Wissenschaft zur Darbringung des bei Weitem grössten und schmerzlichsten Opfers, das ihr überhaupt gebracht werden kann, zwingt, nämlich zur Verübung von planmässig beschlossenen, und mit Ruhe und kaltem Blute auszuführenden Grausamkeiten an Thieren, gerade ein solcher wird ein besonders lebhaftes Bedürfniss fühlen, wo und wie er nur immer es vermag, auch das Seinige beizutragen zur Linderung und Minderung der Qualen, denen das Thier zufolge der Gestaltung unserer Lebensweise und unserer Gewohnheiten dermalen noch in so erschrecklich hohem Maasse unbedenklich unterzogen wird. Und so will ich auch offen bekennen, dass eigentlich nicht so sehr mein Interesse an der unangetasteten Besonderheit des jüdischen Speise-Rituals mich bewogen hat, dem an mich gerichteten Antrag zur Ausarbeitung dieses Gutachtens nach meinem besten Wissen und Können zu entsprechen, als vielmehr die Hoffnung und das lebhafteste Interesse hierbei meine Triebfedern abgaben, die ich an diese, sich mir bietende Gelegenheit anknüpfte, durch eine möglichst einfache und überzeugende Darlegung des Sachverhalts vielleicht etwas beitragen zu können, wenn schon nicht zur directen Erleichterung der Schmerzenslast, die unsere Cultur der Thierwelt zuweist, so doch zur Verhütung einer neuerlichen Vergrösserung dieser Last, die obendrein noch in Folge von Missverständnissen bei der Bethätigung geradezu thierfreundlicher Absichten, also von Seiten der wohlwollenden Beschützer und Vertheidiger der Thiere, diesen zugedacht war, und ihnen eigentlich noch immer droht, solange nicht die **Weisheit und sachkundige Einsicht der hohen Regierung, welche über das Schicksal der neuerungssüchtigen Anträge, die in dieser Sache mit einer ihrer Wichtigkeit so wenig angemessenen Uebereilung gestellt wurden, zu entscheiden hat, eben diese Neuerungen soweit sie bisher vorgeschlagen wurden, sammt und sonders abgewiesen haben wird.** Sollte es sich so fügen, dass die obige Darstellung zur Herbeiführung einer solchen ablehnenden Entscheidung etwas beiträgt, so würde ich mich — eben im Sinne der zuvor erwähnten Denkungsart — glücklich preisen, dass mir vergönnt war, an diesem Erfolge mitzuarbeiten! —

Wien, Anfang Jänner 1887.

Historisch-physiologische Notizen

von Ernst Fleischl von Marxow.

Nach seinem Tode mitgetheilt von Sigm. Exner.

(Aus dem „Centralblatt für Physiologie“ vom 19. December 1891, Heft 19.)

In dem Nachlasse meines verstorbenen Freundes fand sich ein Heft, „Historische Notizen“ betitelt, in das er augenscheinlich bemerkenswerthe Stellen, meistens aus alten, jetzt nur mehr wenig gelesenen, physiologischen und anatomischen Schriftstellern eingetragen, mit Zusätzen über die neue Literatur versehen und zusammengehörige Angaben sorgfältig in Parallele gestellt hatte. Andererseits fand sich ein Stück eines Manuscriptes, das eine unzweifelhafte Einleitung zu einer Publication bildet, welche diese historischen Notizen einem weiteren Kreise mittheilen sollte. Es war also seine Absicht, dieselben zu veröffentlichen. Dies liess es mir, in Uebereinstimmung mit den Angehörigen des Todten, als einen Act der Pietät erscheinen, seine Absicht noch nachträglich auszuführen, umsomehr, als, wie ich glaube, der Inhalt allgemeines Interesse beanspruchen kann.

Es liegt in der Natur dieser Notizen, dass Vieles darin eben nur für den Antor derselben verständlich ist, einem Dritten der verbindende Faden fehlt. Um so erfreulicher aber ist es, dass Einiges — wenn auch in der knappsten Form — ein Ganzes bildet, und bloss betreffs dieses kann an eine Veröffentlichung gedacht werden. Diese soll in den folgenden Zeilen geschehen; ich glaube am besten zu handeln, wenn ich wörtlich, ohne jede Einschaltung meinerseits, die Notizen mittheile. Meine Redaction beschränkt sich auf Zusammenstellung des Zusammengehörigen und Weglassung von Wiederholungen oder von für mich Unverständlichem, Unvollendetem oder Nebensächlichem. Die Anmerkungen unter dem Striche sind den schriftlichen Notizen entnommen, und wo ich selbst einen Zusatz

machen musste, ist das auch unter dem Striche geschehen, aber immer mein Name beigesetzt.

I.

In Albert v. Haller's Elementa Physiologiae (Lausannae Sumptibus Francisci Grasset & Sociorum 1769), Tom V, Lib. XV, Sect. III, § 7 (Sedes auditus), pag. 293 f.,

findet sich eine ganz unzweideutige Darstellung der „Helmholtz'-schen Theorie der Tonwahrnehmung als die Meinung clarissimorum quorundam virorum. Die betreffende Stelle lautet:

Potissimum vero placuit Cl. viris lamina illa spiralis membranacea, cum nervis[1]) inter utrumque folium decurrentibus, quos sibi sumunt. Cum enim ea lamina verum sit triangulum, tantum convolutum, rectangulum, cujus angulus ad verticem cochleae peracutus fit, continuo viderunt, viri ingeniosi, habere se machinulam, in qua chordae innumerabiles contineantur. Origo latissima in basi cochleae est, brevissimi fines proxime apicem (ut quidem Cl. viri eam fabricam sibi repraesentabant). Nempe chordas longissimas, ad basin positas cum sonis[2]) gravissimis, brevissimas, quae sunt ad verticem, cum accutissimis sonis harmonice contremiscere, et per eos tremores animae eos sonos distincte praesentare. Nerveas vero eas chordas et sensiles posuerunt, quod credantur ex modiolo[3]) inter duo folia laminae membranaceae nervuli excurrere et ex eadem ratione alii aliis longiores esse. Esse adeo laminam spiralem primarium auditus organum.[4])

Aus der hier copirten Stelle, sowie aus dem, was in Boerhaave an der unter ([2]) citirten Stelle (IV, p. 215 ff.) gesagt ist, geht mit aller Deutlichkeit hervor, dass damals eine, der heutigen völlig gleiche Anschauung über die Schallperception und über die physiologische Begründung einer Fähigkeit, Unterschiede in der Tonhöhe wahrzunehmen, allgemein verbreitet war.

Der einzige Unterschied liegt darin, dass wir jetzt die mit den tiefsten Tönen mitschwingenden Chorden an die Spitze, die mit den höchsten Tönen mitschwingenden Chorden an die Basis der Schnecke

---

[1]) p. 243.

[2]) Duverney, p. 98; Boerhaave, n. 563; D. de Mairan, Mém. de l'Akad. 1737; Nollet, p. 480; Cotunnus, p. 79; Musschenbroeck, n. 1479.

[3]) Perrault, du bruit, p. 246 seqq.; Duvesney, p. 96; Cotunnus l. c.

[4]) Perrault, p. 212, 247; Boerhaave l. c. Vieussens p. 87, 88, le Cat. p. 282; Buffon, T. III, p. 343; Mairan, l. c. p. 76; Nollet, l. c.

verlegen, d. h. es ist kaum ein Missverständniss verbreiteter als das, welches dieses Verhältniss verkehrt auffasst, also im Sinne Haller's und Boerhaave's.

* *
*

Nach der Aussage des Boerhaave (l. c.) scheint Perrault (Perraltus) „du bruit" der wirkliche erste Begründer der auf das Mitschwingen transversal zur Schneckenaxe gespannten Chorden basirten Theorie der Tonempfindungen zu sein.

* *
*

Von Schallwellen in unserem Sinne hat Perrault keine Ahnung. Er ist z. B. der Ansicht, dass sich die Bewegungen des tönenden Körpers dem Ohre durch die Luft, wie durch einen starren, unelastischen Körper mittheilen. Diese Eigenschaft soll die Luft zufolge der grossen Geschwindigkeit der ursprünglichen Bewegungen annehmen (s. p. 249 unten.[1])

* *
*

Perrault leitet die Langsamkeit des Schalles gegenüber derjenigen des Lichtes von der Compressibilität der Luft und vergleichsweisen Unzusammendrückbarkeit des Lichtäthers her.[2])

* *
*

Perrault, Claude, Dr. Med., Arzt, Baumeister, Maler, Tonkünstler, seit 1666 Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Paris; geboren 1613 etwa, Paris, gestorben 9. October 1688, Paris.[3])

* *
*

Biographische Notizen über Claude Perrault.

Er war Meister in allen Künsten und Wissenschaften — Universalgenie. Colbert schrieb einen Concurs aus[4]) für die Façade des Louvre, forderte sogar Bernini auf, selbst nach Paris zu kommen, um seinen Plan zu verwirklichen. Da stellte sich heraus, dass Perrault's Project von allen das schönste sei. Man zweifelte nur an der Möglichkeit, es in Stein wirklich auszuführen. Doch wurde es ohne die geringste Aenderung wirklich ausgeführt.

---

1) Hier bezieht sich der Verfasser auf Oeuvres de Physique et de Mechanique de Perrault. Amsterdam 1727 (Exner).

2) Aus derselben Quelle (Exner).

3) Es folgt hier die Aufzählung seiner Werke nach Poggendorff Biographisch-literarisches Handwörterbuch (Exner).

4) Er forderte die berühmtesten Architekten Frankreichs und Italiens auf ihm Pläne für diese Façade zu schicken.

Nach Perrault's Entwurf und Plan wurde das Observatoire gebaut, welches durch seine baulichen Anlagen allein — ohne astronomische Instrumente — schon vielfachen astronomischen Zwecken dient.

Perrault hat ein grosses Modell für den Arc de Triomphe construirt; der wirkliche Arc de Triomphe ist grösstentheils nach diesem Modell gebaut. Minister Colbert übertrug Perrault die Aufgabe, den Vitruv neu zu übersetzen, die Perrault meisterhaft löste, besonders herrliche Zeichnungen zu den Tafeln anfertigte.

Perrault hat dann eine Abkürzung des Vitruv herausgegeben.

Perrault hat ein Werk über die fünf Säulenordnungen der Alten geschrieben.

Als die Académie royale des sciences gegründet wurde, wurde Perrault einer der Ersten als Mitglied hineinberufen, um besonders über Physik zu arbeiten.

Sein eigentlicher Beruf, den er auch trefflich geübt hat, war der eines Arztes. Doch hat er seit seiner Berufung in die Académie royal des sciences nur mehr seine Familie, seine Freunde und Arme ärztlich behandelt.

Er starb in Folge seiner Theilnahme an der Section eines Kameeles im Jardin royal des plantes. Diese Leiche muss besonders infectiös gewesen sein, weil Alle, die damals anwesend waren, krank wurden.

* * *

Albrecht v. Haller, Grundriss der Physiologie für Vorlesungen nach der vierten u. s. w. Ausgabe aufs neue übersetzt und mit Bemerkungen versehen durch Herrn Hofrath Sömmering; mit einigen Anmerkungen begleitet und besorgt von P. S. Meckel, Professor in Halle (Berlin 1788)

enthält schon als Ueberbleibsel jener grossen, zur Wiedergeburt bestimmten Lehre auf Seite 377 in § 495 die naiv-unverschämte Bemerkung: „Es ist eine artige Vermuthung, dass, da das Spiralblatt ein wahres Dreieck ist, dessen Spitze einen sehr kleinen Winkel macht, sich unzählige Seiten auf diesem Blatte denken liessen" u. s. w.

Also ausser dem verkrüppelten Inhalt der eigentlichen Theorie nichts als den stets mit der grössten Sorgfalt wiederholten, wesentlichen Irrthum von der Abnahme[1]) der Schwingungszahlen gegen das Helikotrema zu: den lebendigen Zeugen für die Thatsache, dass sich seit Perrault Niemand, keiner von den grossen Anatomen

[1]) Soll heissen Zunahme (Exner).

Haller, Boerhaave, die über die Sache geschrieben, selbe auch wirklich angesehen haben, auch die Herren Sömmering und Meckel nicht, und wie es scheint, auch Cotunnus nicht, obzwar er entdeckt hat, dass kein „Dämpflein“, sondern ein „Wässerlein“, das gefrieren kann, das knöcherne Labyrinth erfüllt, ausser dem Gewebe, das darin enthalten ist.

II.

Die globuläre Substanz an der inneren (der Pulpahöhle zugewendeten) Oberfläche der Zähne beschreibt Antonius de Leuvenhock 1687 in seiner Anatomia, seu interiora rerum etc. etc. Epistolarum Continuatio (2. Theil) Lugdani Batavorum apud Cornelium Bontestein pag. 7, mit den Worten:

„Intra cavitates aliquorum Dentium contemplatur quoque rotunde exaltatas aut gibbosas excrescentias esse excretas.“

Diese Schilderung entspricht vollständig der Natur der Sache, sowie der Beschreibung, welche hiervon J. N. Czermak gegeben hat: Gesammelte Schriften von J. N. Czermak I. 1. Beiträge zur mikroskopischen Anatomie der menschlichen Zähne, p. 40 bis 70, Tafel 6 und 7.

L. c. pag. 54 heisst es: „Die innere, der Keimhöhle zugewendete Oberfläche der Zahnsubstanz zeigt eine ganz besondere Beschaffenheit, welche aller Berücksichtigung werth ist. Die Zahnsubstanz erscheint an ihrer inneren Oberfläche nicht als ein gleichmässiges Ganzes, sondern bestehend aus Kugeln von verschiedenem Durchmesser, welche in verschiedenem Grade untereinander zu einer Masse verschmolzen sind und auf welchen die Zahncanälchen gegen die Keimhöhle ausmünden. Bei Beleuchtung von oben erkennt man diese tropfsteinartige Beschaffenheit der inneren Oberfläche der Zahnsubstanz sehr deutlich durch die verschiedene Beleuchtung der kugeligen Erhabenheiten und durch die Schatten, welche sie werfen. So verhält sich die Sache von der Fläche aus gesehen (vgl. Taf. 6, Fig. 1).“

Czermak beschreibt im weiteren Verlaufe allerdings diese Formation als eine Eigenthümlichkeit junger noch nicht ganz ausgebildeter Zähne. Je älter ein Zahn, desto gleichmässiger sei seine innere Oberfläche, in ganz alten Zähnen kämen wieder bedeutendere Unebenheiten dieser Oberfläche vor, welche jedoch einen anderen Charakter haben, nicht mehr kugelig, sondern narbenartig verzogen scheinen. Auch beschreibt Czermak die kugelige Substanz an Durchschnitten und Schliffen von Zähnen als nicht an der inneren Oberfläche, sondern unter dieser in der Substanz der Zahnmasse liegend.

Trotzdem kann man — wenn man vergleicht, wie von beiden Autoren der Anblick der inneren Oberfläche geschildert ist — nicht zweifeln, dass sie beide dasselbe Object vor sich gehabt, gesehen und beschrieben haben.

III.

In den Figuren auf den Tafeln von dem berühmten Werke des Fontana über das Viperngift, die Structur der Nerven und einen Canal im Ochsenauge wird bekanntlich das Aussehen und das Zustandekommen der sogenannten Fontana'schen Spirale an den Nervenstämmen sehr getreu wiedergegeben und völlig richtig erklärt.

Ich weiss aber nicht, ob es jetzt noch bekannt ist, dass andere Figuren auf diesen Tafeln ganz unzweifelhafte Darstellungen der seitdem als Neuigkeit entdeckten, und unter dem Namen der „Lantermann'schen Trichter"[1]) beschriebenen Vorkommnisse an markhaltigen Nervenfasern sind, wie selbe nach gewissen Behandlungsweisen regelmässig auftreten. (Die wichtigste Figur bei Fontana ist jedenfalls Fig. X auf Taf. IV.) Auch sonst sind in Fontana's Abbildungen Verhältnisse am Nerven wiedergegeben oder doch angedeutet, die seitdem — und zwar in ganz neuer Zeit — wieder als etwas noch ganz Unbekanntes veröffentlicht wurden.

IV.

Vor einigen Jahren publicirte . . . . . , in . . . . . .[2]) die Bemerkung als eine ganz originelle, dass man beim Vergleiche der Körper- und Darmlänge nicht das einemal (beim Menschen) die Länge der hinteren Extremitäten mit zu der des Körpers rechnen — das anderemal (bei allen Anderen) aber bloss die Länge des Rumpfes als die des Körpers annehmen dürfe, ein Fehler, der wirklich bis in unsere Tage gemacht wurde, und offenbar vom aufrechten Gange des Menschen herrührt.

Ganz die gleiche Bemerkung findet sich aber schon in: K. Asmund Rudolphi's Grundriss der Physiologie. Reutlingen 1830, II. Bd., zweite Abtheilung, p. 169, Anmerkung.

---

[1]) A. T. Lantermann, Bemerkungen über den feineren Bau der markhaltigen Nervenfasern (Vorl. Mitth.). Med. Centralbl. 1874, p. 706 bis 708; H. D. Schmidt, On the construction of the dark or double bordered Nerve-Fibre. Monthly microscopical Journal 1874, p. 200; Boll, Ueber Zersetzungsbilder der markhaltigen Nervenfasern. His-Braune's Arch. 1877, p. 288 bis 313; B. Rawitz Die Ranvier'schen Einschnürungen und die Lantermann'schen Einkerbungen. His-Braune's Arch. 1879, p. 57 bis 76.

[2]) Wie ich aus gelegentlichen Gesprächen zu wissen glaube, meinte der Verf. hier die Arbeit: C. Henning, Ueber die vergleichende Messung der Darmlänge. Centralbl. f. d. med. Wiss. 11. Juni 1881, Nr. 24, S. 433. (Exner.)

Bau der sog. Schilddrüse des Frosches.

Fig. 1.

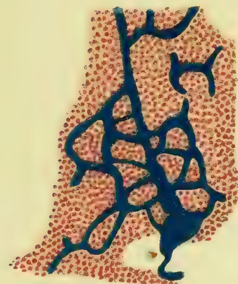


Fig. 2.



Fig. 3.

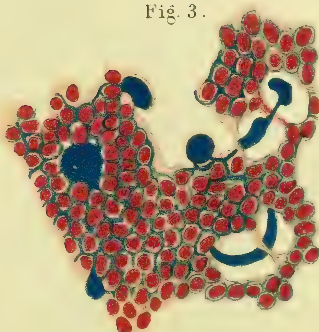
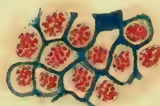


Fig. 4.



Lith. Anst. v. J. Klinst, Leipzig

Bau einiger sog. Drüsen ohne Ausführungsgänge.

Fig. 1.

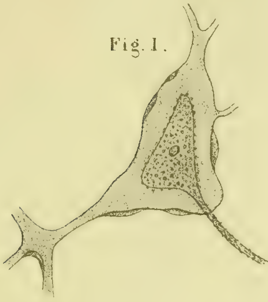


Fig. 2 a.

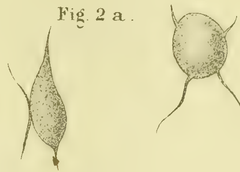


Fig. 2 b.

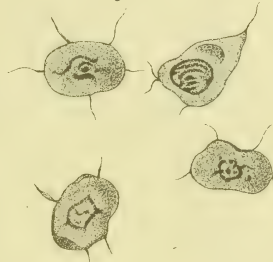


Fig. 3.



Fig. 4.



Fig. 5.

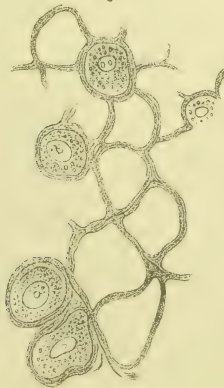


Fig. 7.

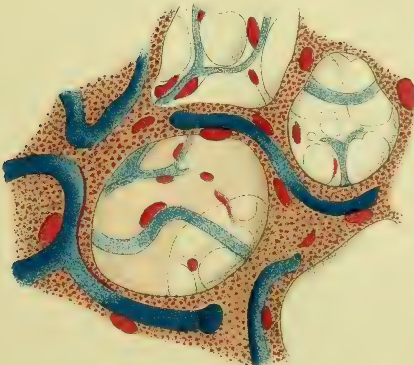


Fig. 6.



Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig.

Wirkung von Borsäure auf Ganglienzellen.

Fig. 1.



1/1000

Fig. 2.



1/1000

Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig

Fig. 1.

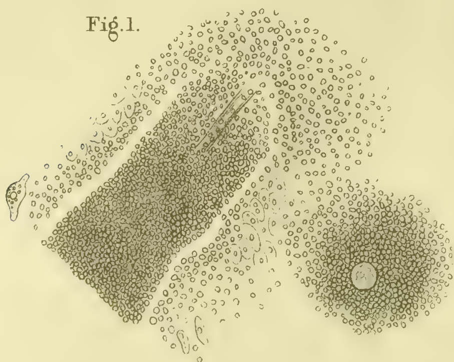


Fig. 4.

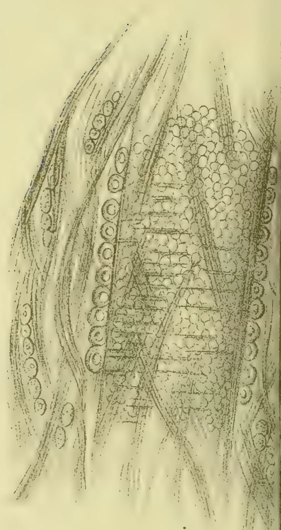


Fig. 2.



Fig. 6.



Fig. 7.



Fig. 8.





Fig. 3.



Fig. 5.

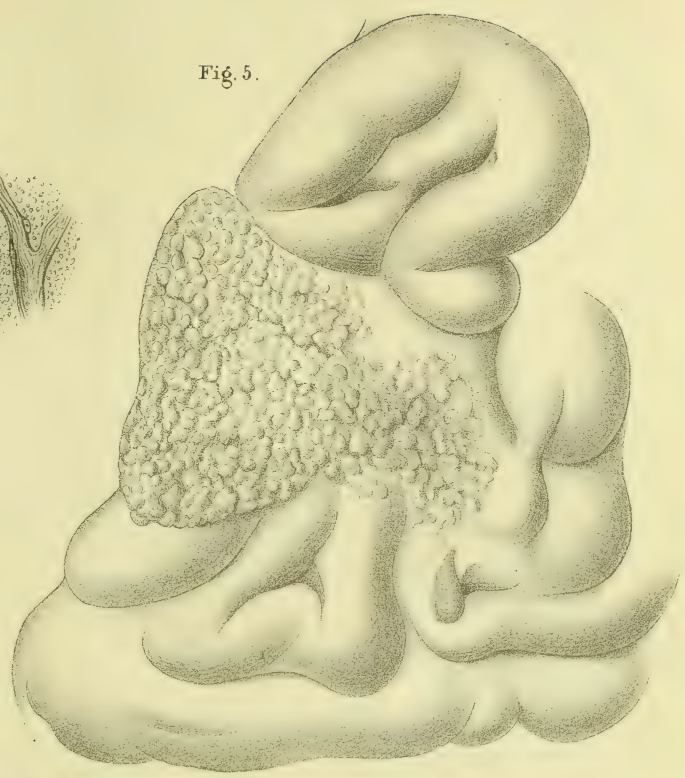
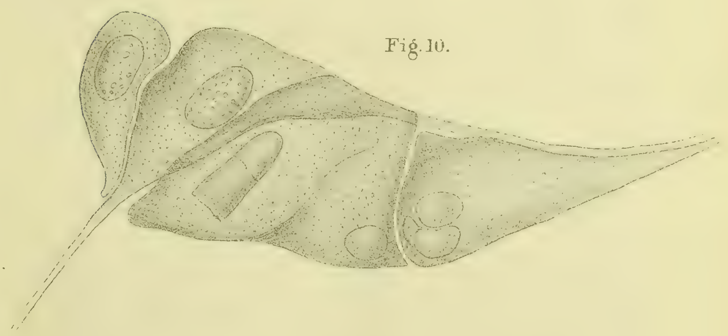


Fig. 10.



g. 9.

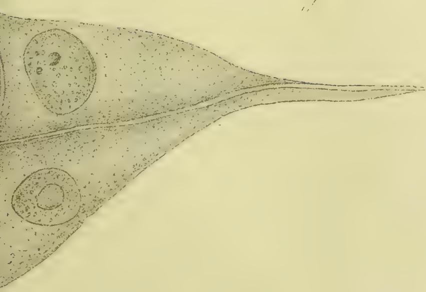


Fig. 11.



Hirntumoren.

Fig. 1.

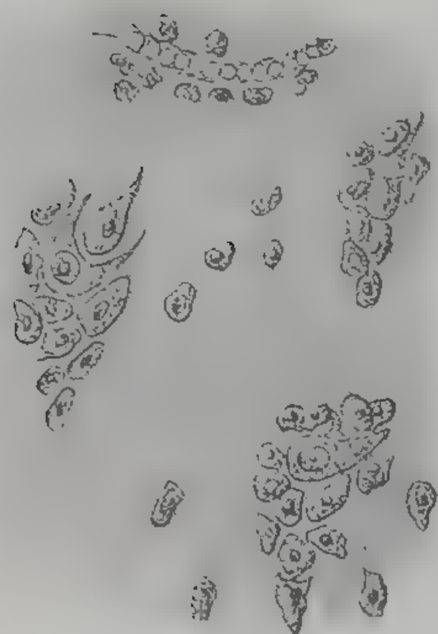


Fig. 3

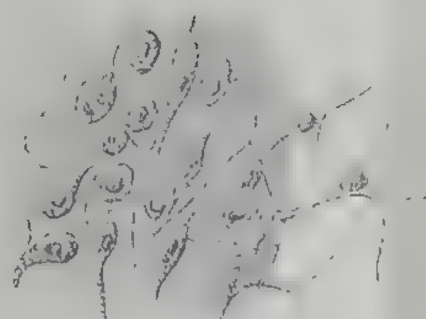


Fig. 4.



Fig. 2.

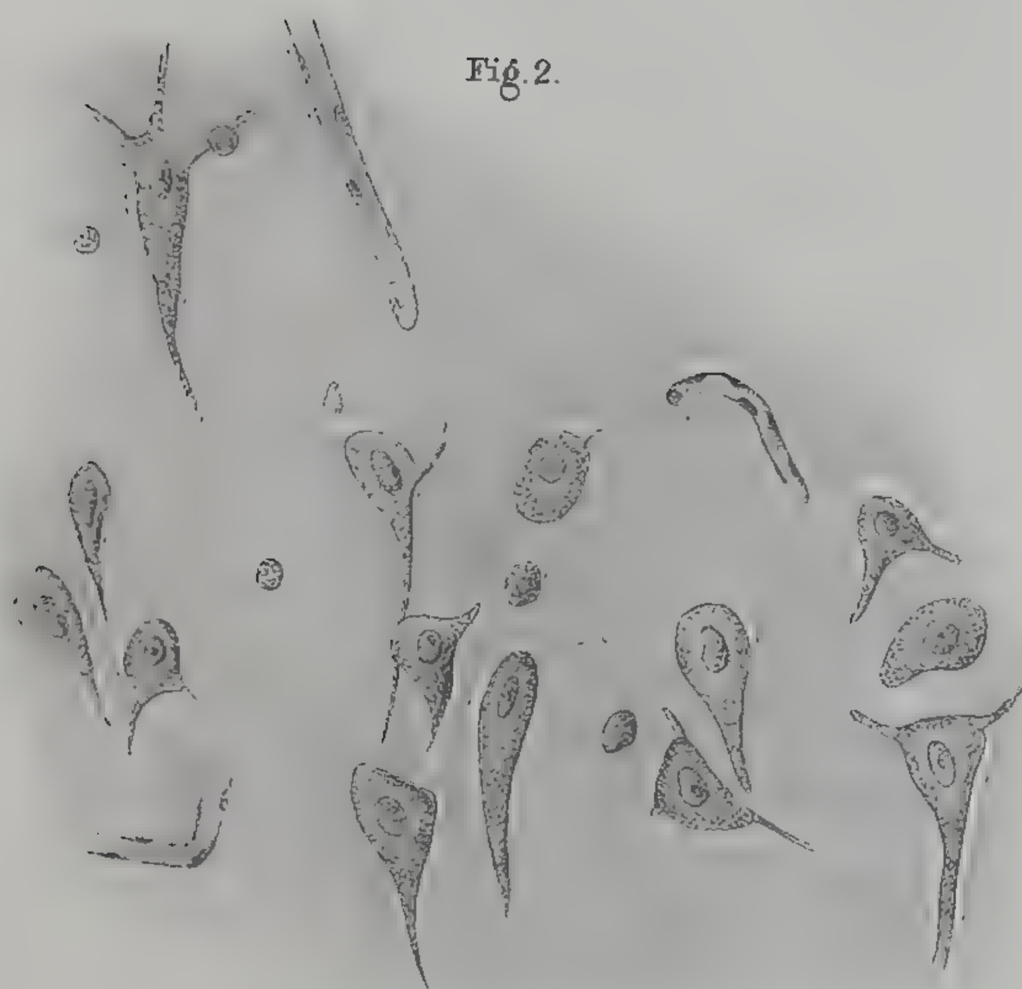


Fig. 1.



Fig. 2.

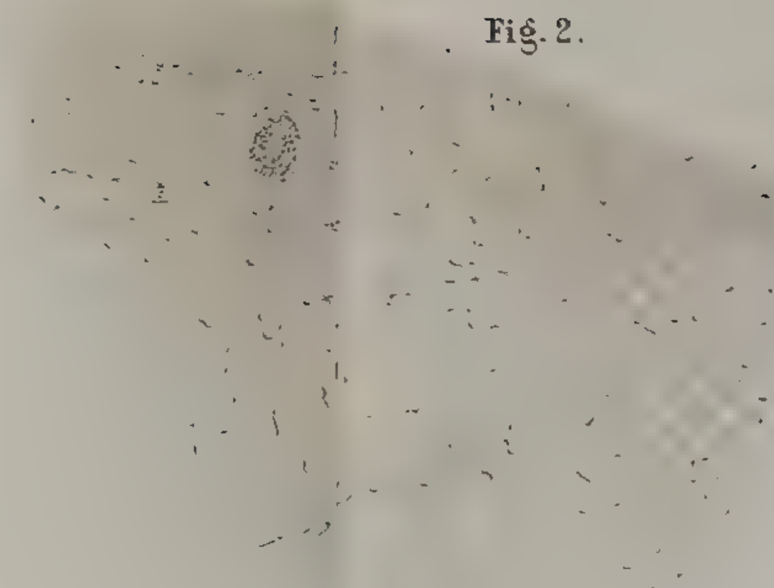


Fig. 4.

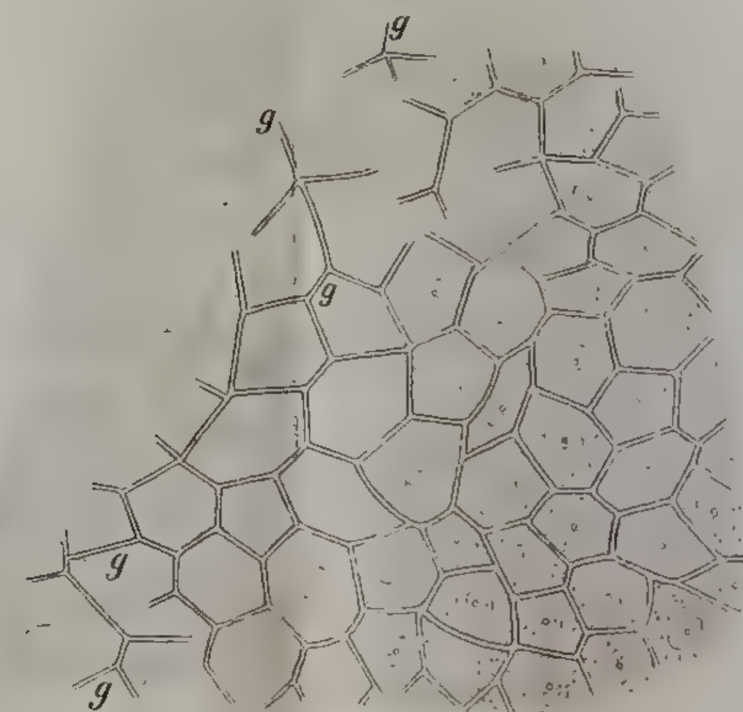


Fig. 3.

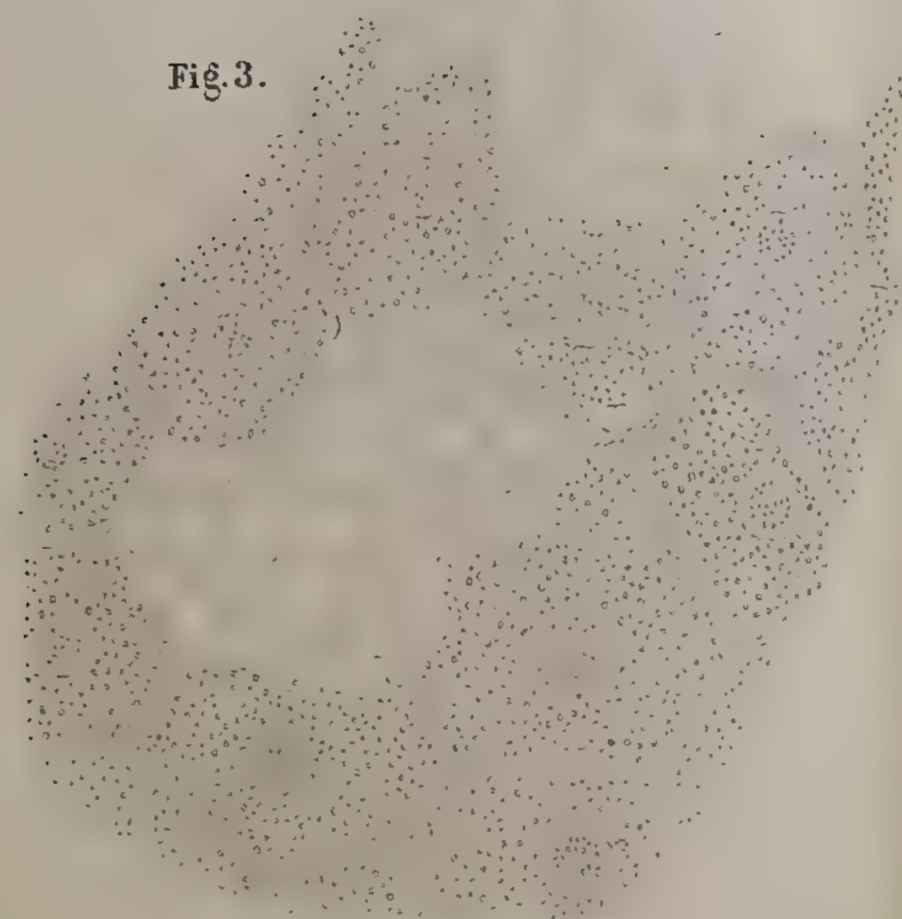
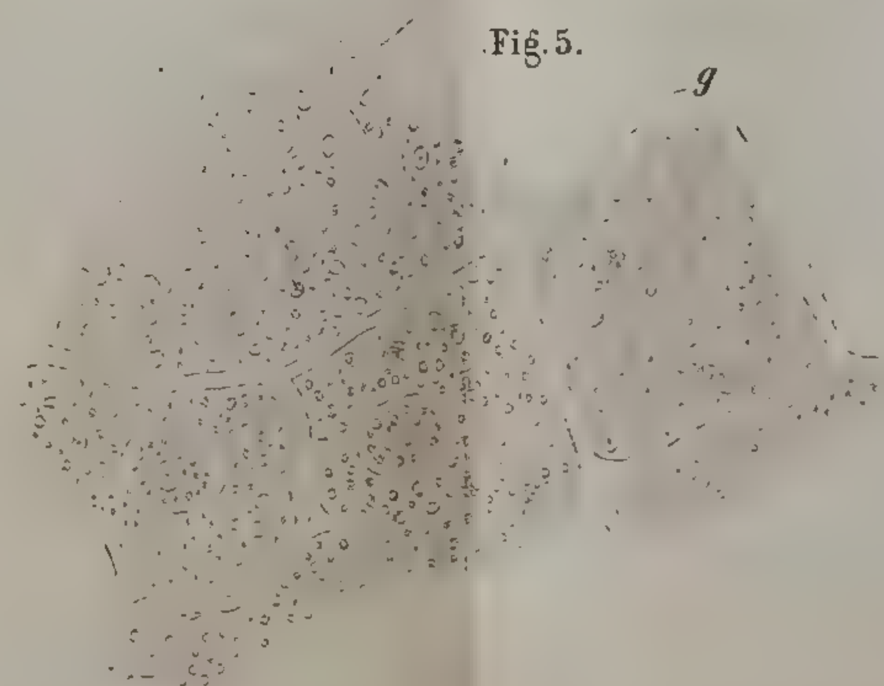


Fig. 5.



Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig

Beschaffenheit des Axencylinders.

Fig. 3.



200/1

Fig. 5.



200/1

Fig. 1.



200/1

Fig. 2.

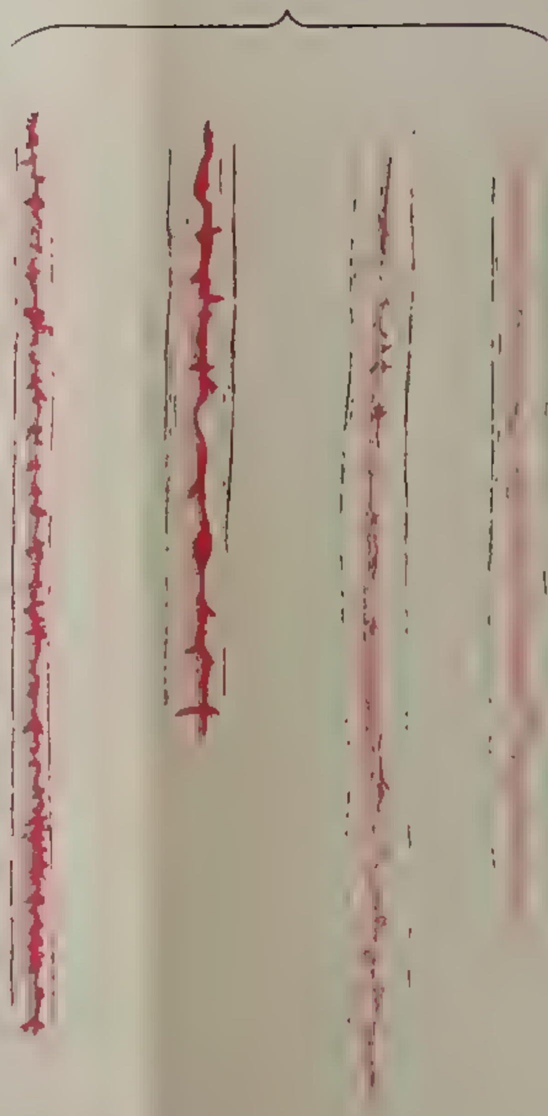
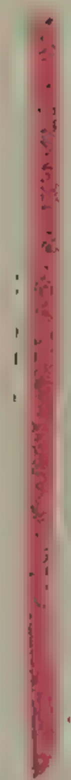


Fig. 4.



Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig

Wirkung secundärer electr. Ströme auf Nerven.

Fig. 1.

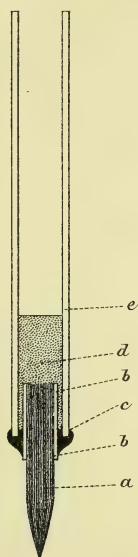


Fig. 2.

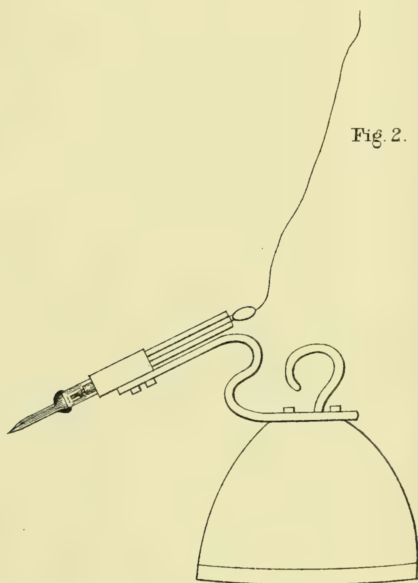


Fig. 3.

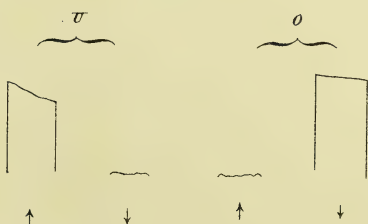
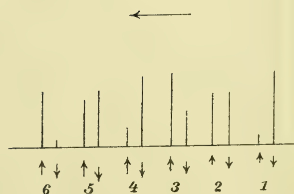
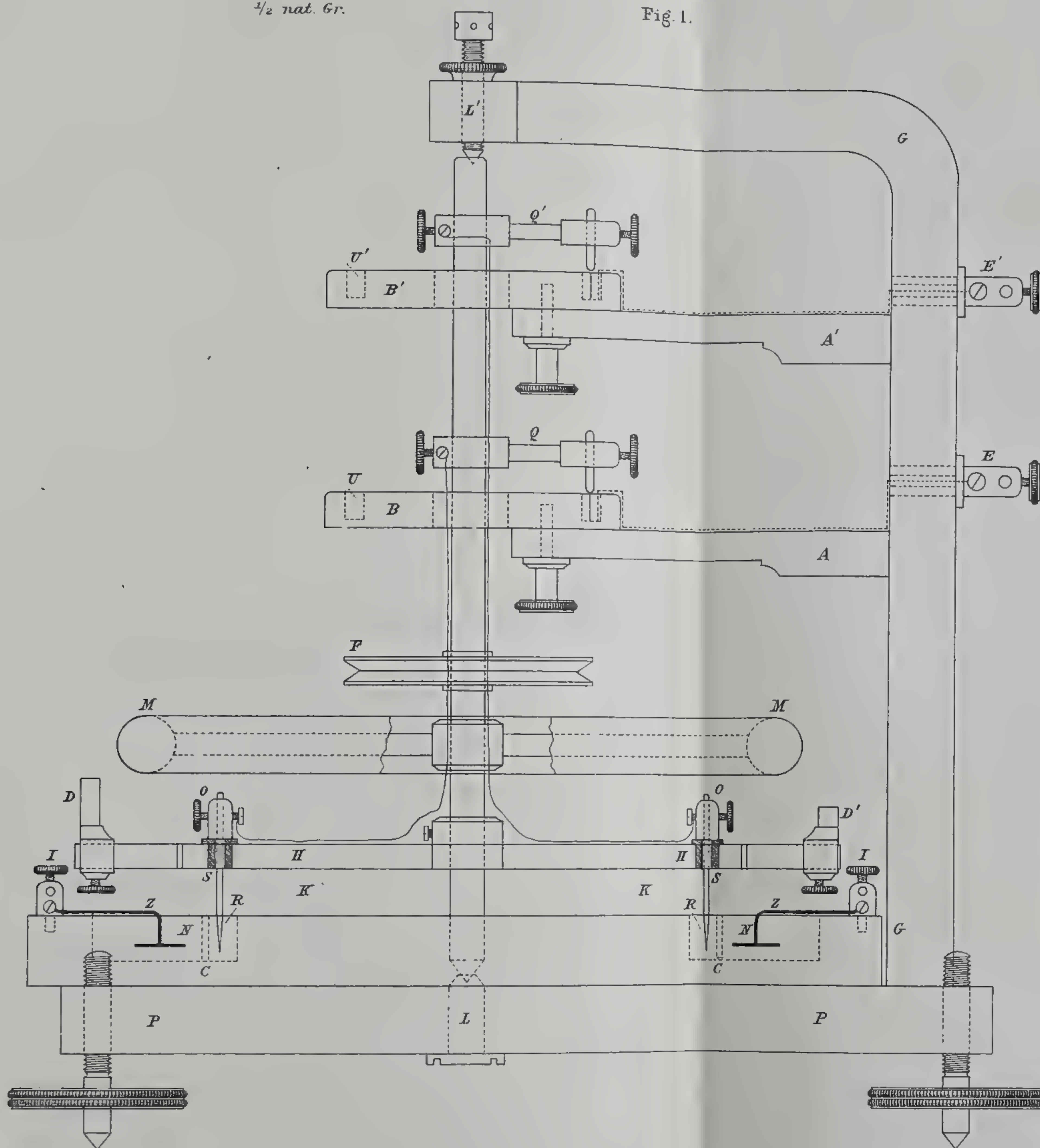


Fig. 4.



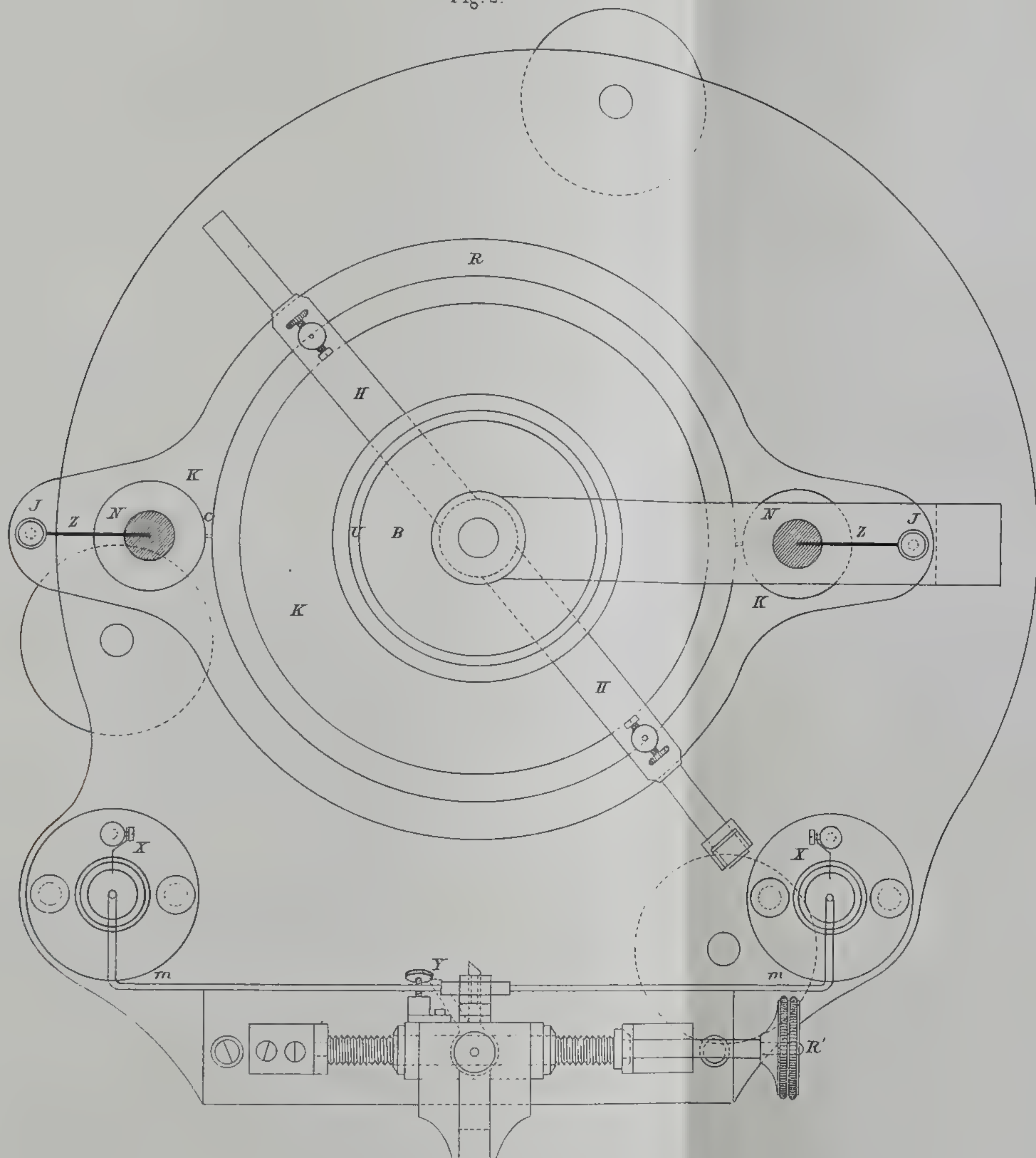
Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig.

Das Rheonom.



Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig

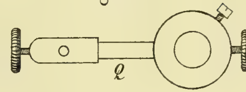
Das Rheonom.

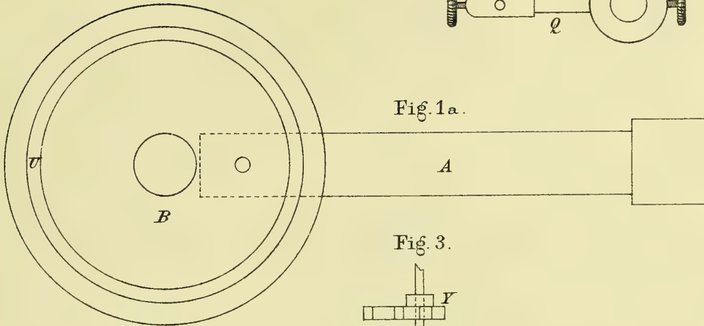


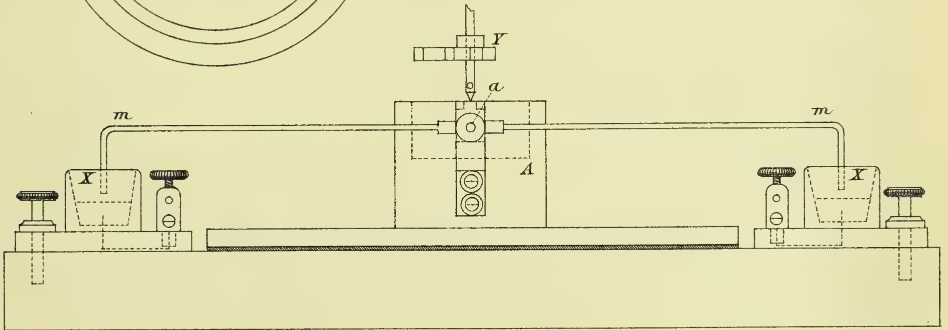
Lith Anst v C Kirst Leipzig

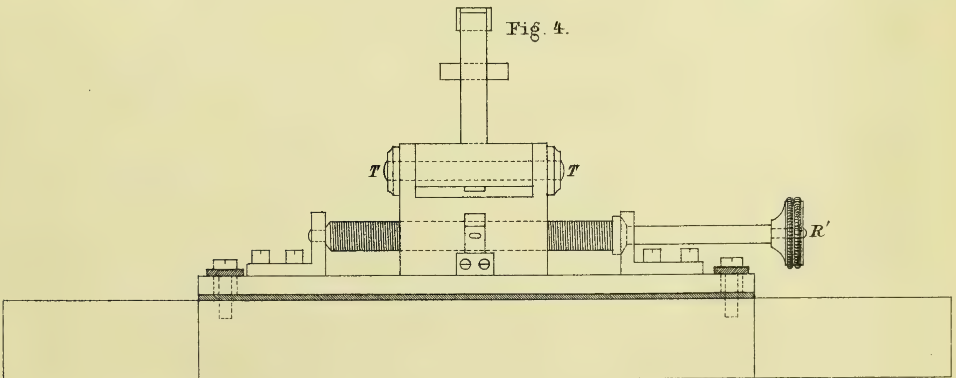
Das Rheonom.

½ nat. Gr.









Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig

Das Rheonom.

1/2 nat. Gr. Fig. 5.

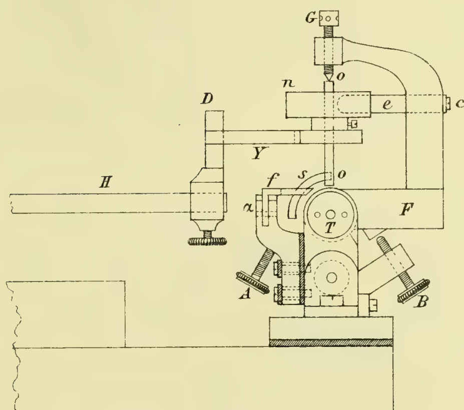


Fig. 5a.

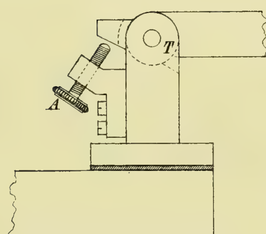


Fig. 5b

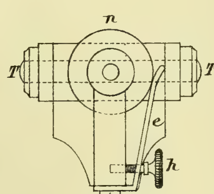
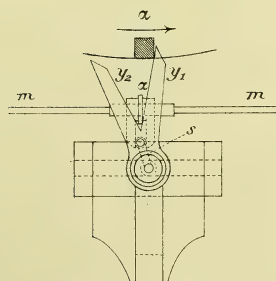
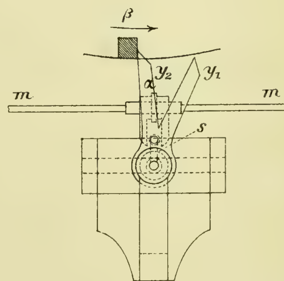


Fig. 6.





Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig.

Der interpolare Electrotonus.

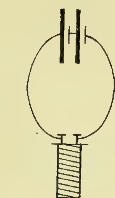
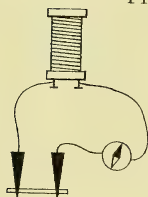


Fig. 1.



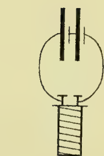
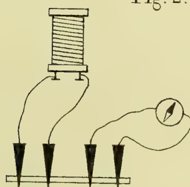


Fig. 2.



Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig.

Theorie des Electrotonus.

Fig. 1.

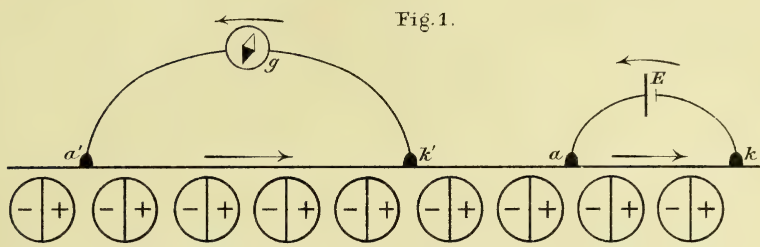


Fig. 2.

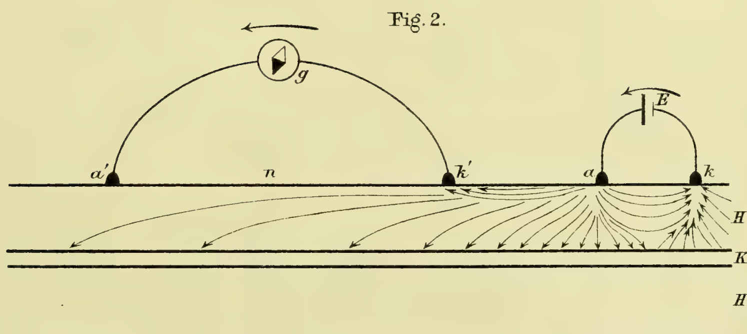
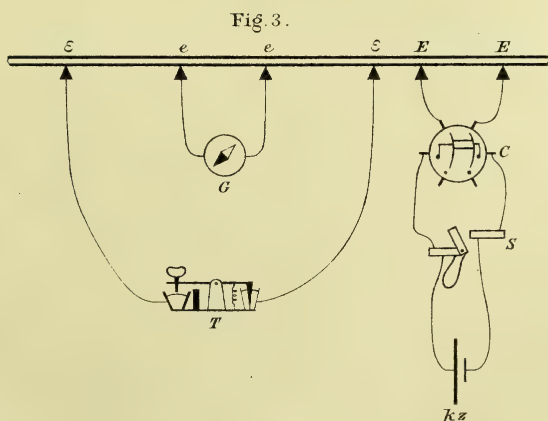


Fig. 3.



Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig.

Theorie des Electrotonus.

Fig. 4.

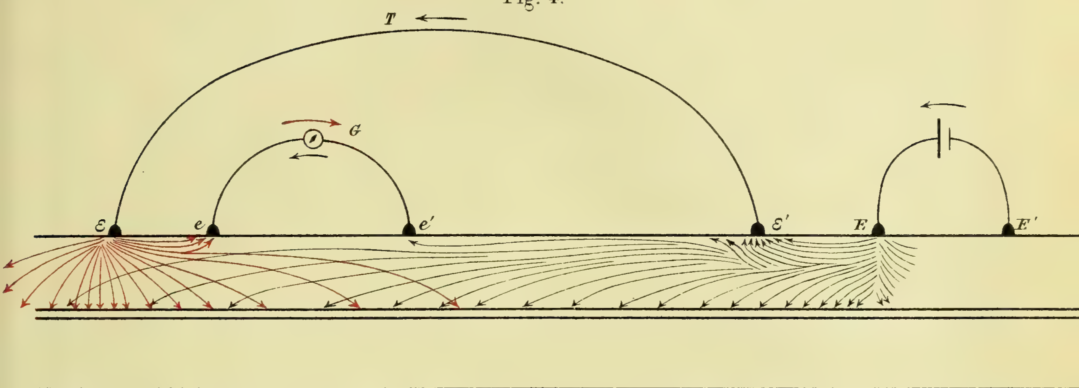
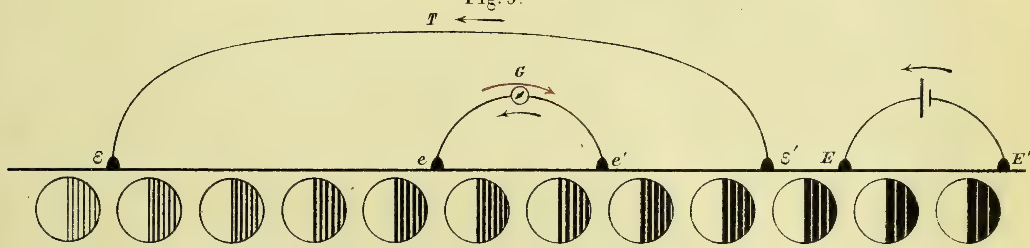


Fig. 5.



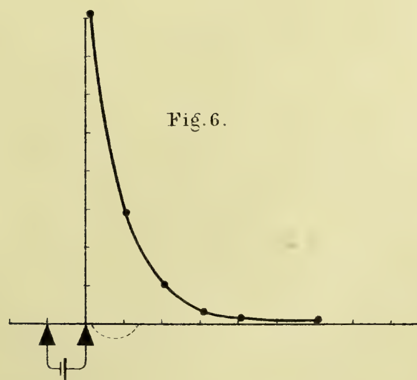


Fig. 6.

Lith Anst v C. Kirst, Leipzig

Fig. 1.

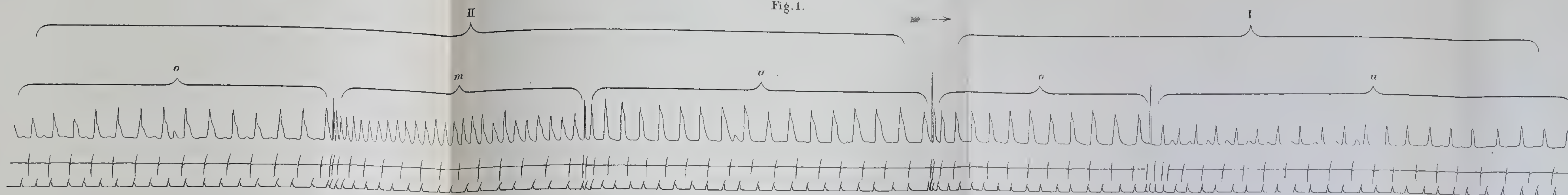


Fig. 2.

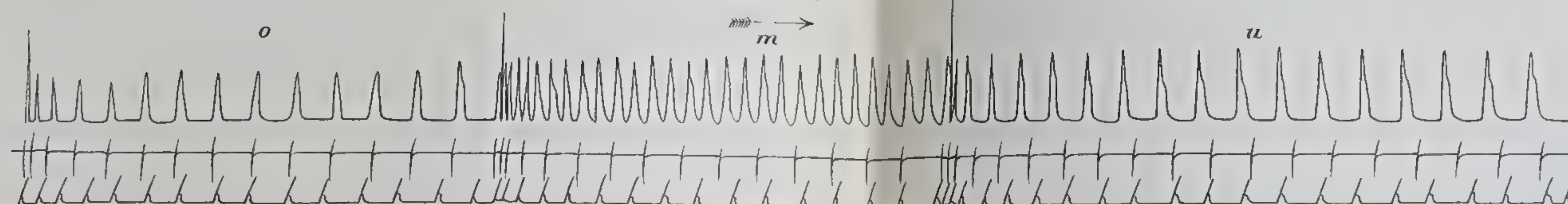


Fig. 3.

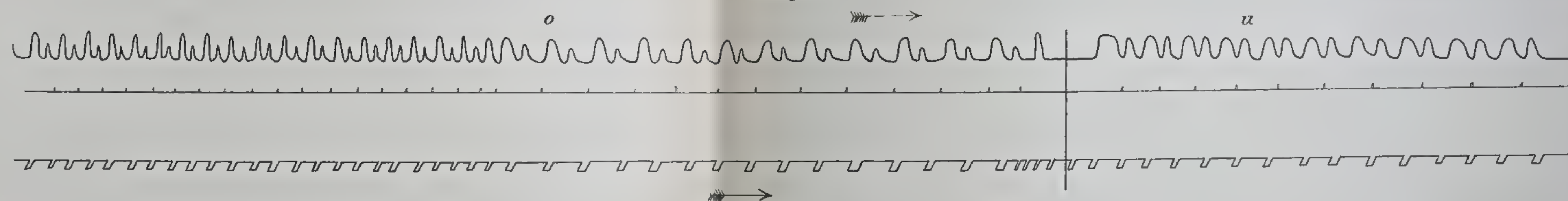


Fig. 6.

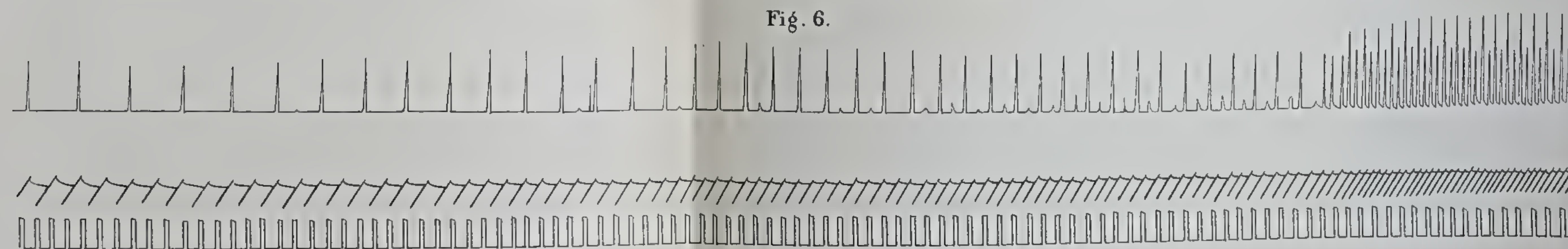


Fig. 7.

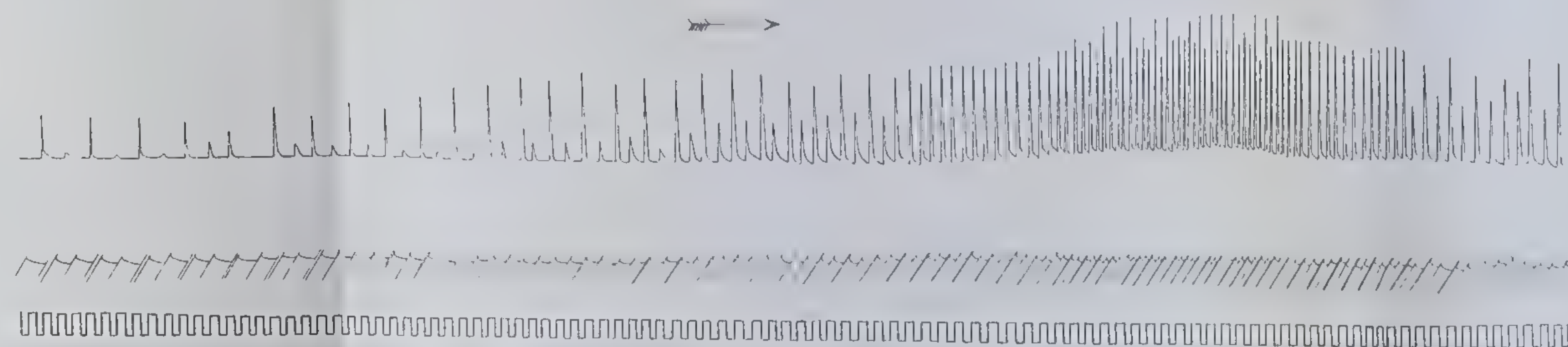


Fig. 4

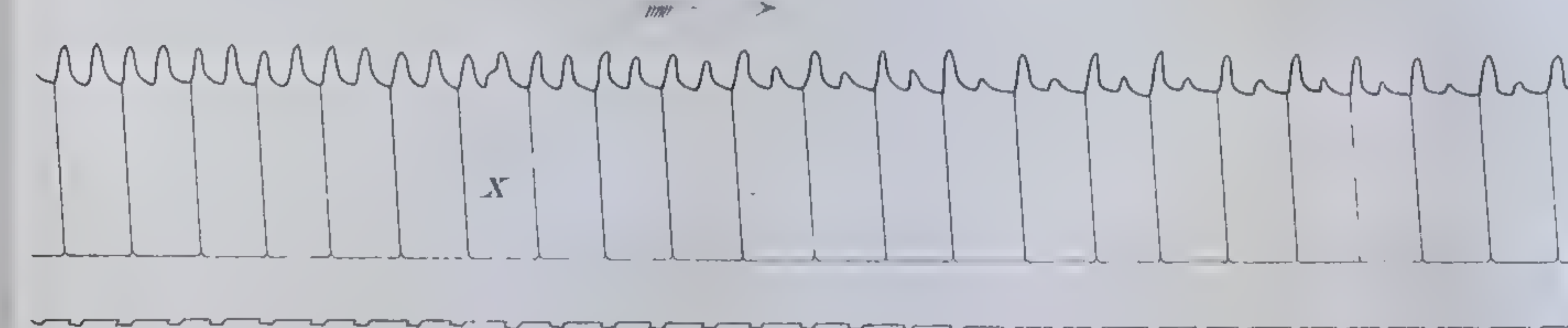
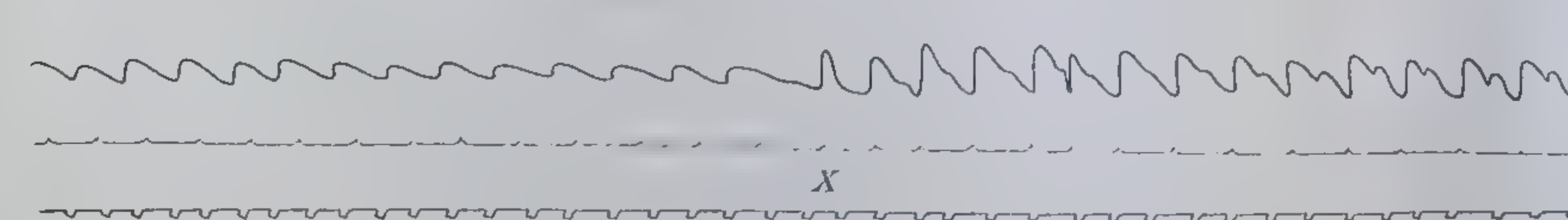


Fig. 5.



Lith. Anst. v. C. Kirst, Leipzig

Fig. 8.

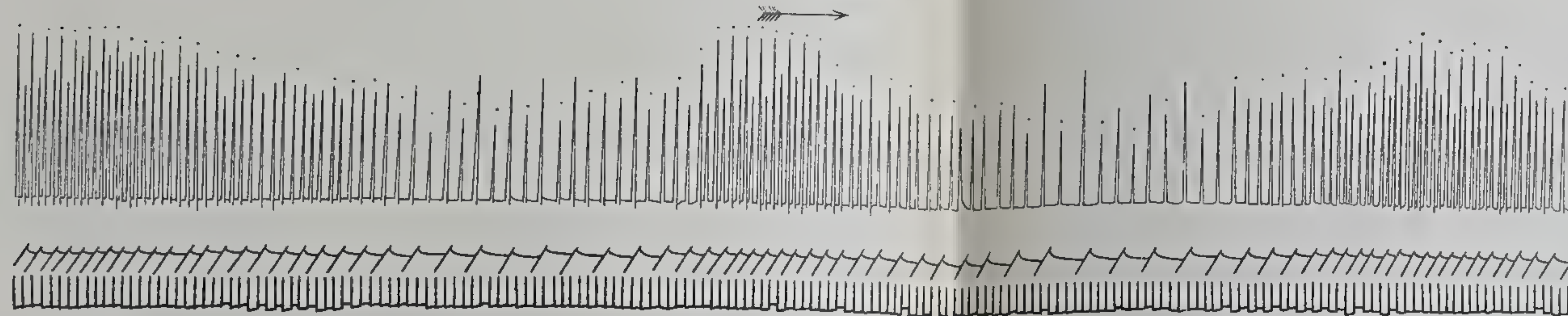


Fig. 10.

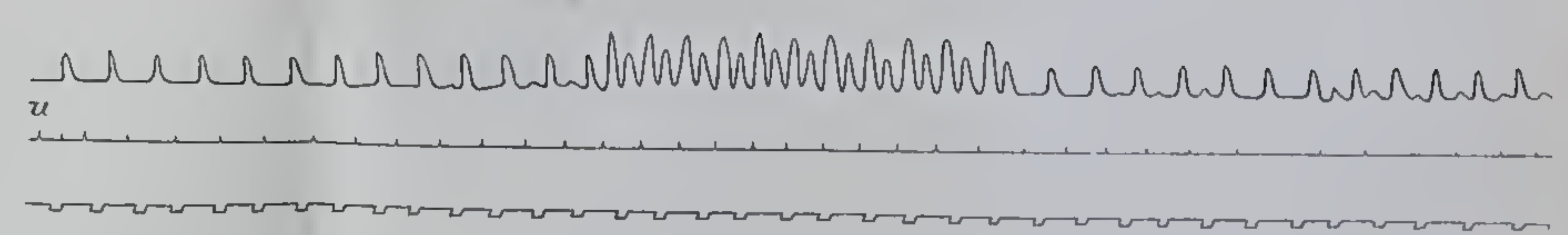


Fig. 9.

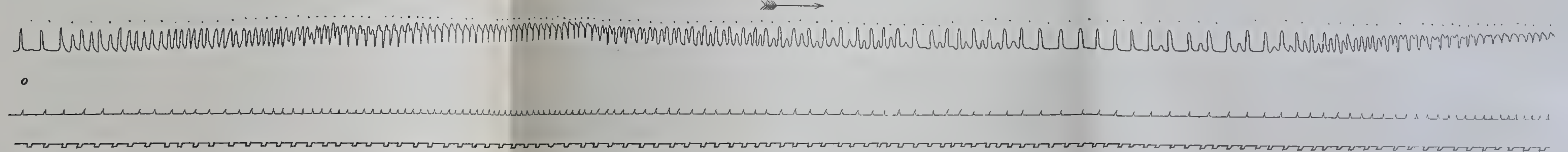


Fig. 11.

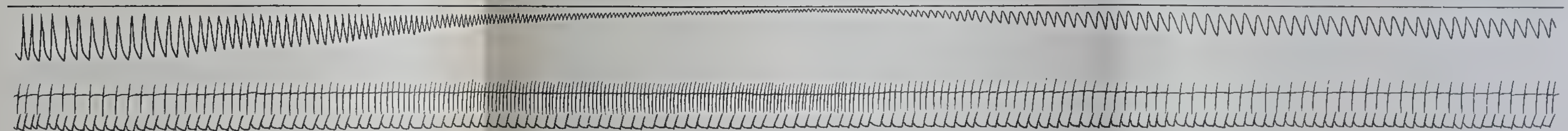
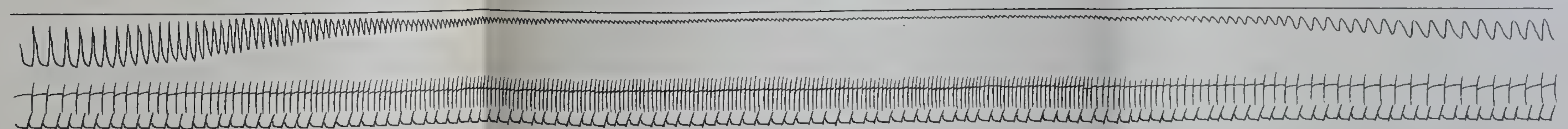


Fig. 12.



Lith. Anst. v. . Kir . t, Leipzig

Fig. 14.



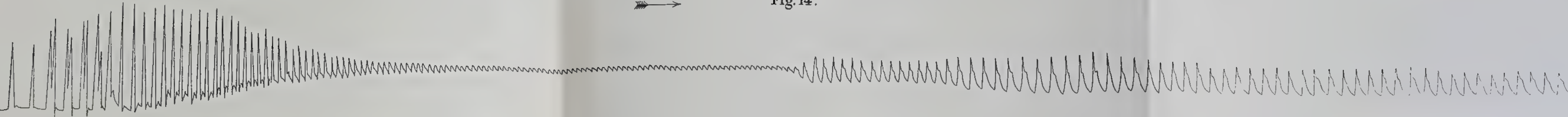
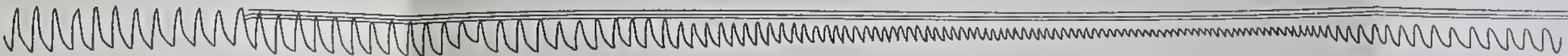


Fig. 13.





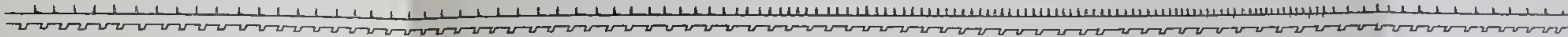


Fig. 15.



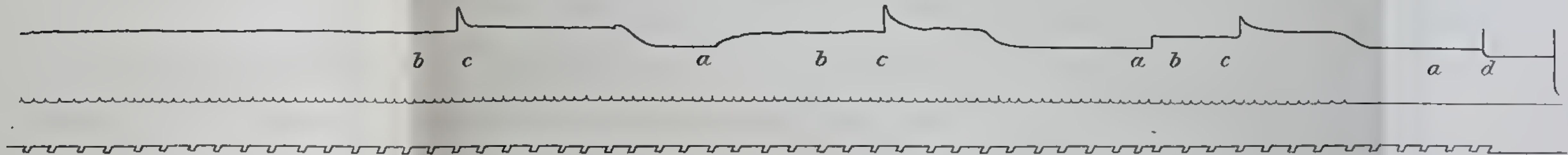


Fig. 16.



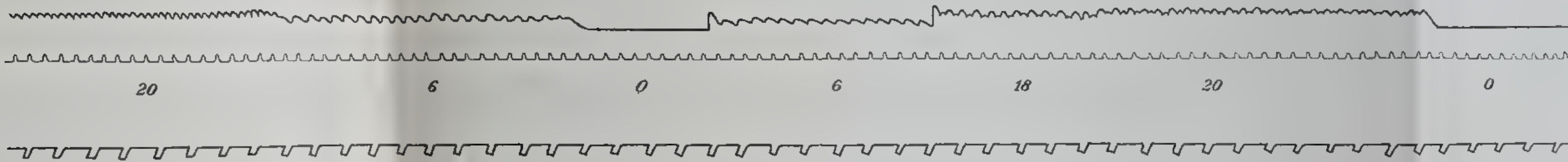


Fig. 17.

